

---

# **BACHELORARBEIT**

---

Herr

**Hans Schifferdecker**

## **Energetische Modernisierung eines Altbaus**

Mittweida, 2015

---

# **BACHELORARBEIT**

---

## **Energetische Modernisierung eines Altbaus**

Autor:

**Herr Hans Schifferdecker**

Studiengang:

**Immobilienmanagement und Facilities Management**

Seminargruppe:

**FM11w2-B**

Erstprüfer:

**Prof. Dr.-Ing. Jörg Mehlis**

Zweitprüfer:

**Prof. Dr.-Ing Gerhard Gebhardt**

Einreichung:

**Mittweida, 17.07.2015**

Verteidigung/Bewertung:

**Mittweida, 2015**

Faculty mechanical engineering

---

# **BACHELORTHESIS**

---

## **Energetic modernisation of an old residential building**

author:

**Mr. Hans Schifferdecker**

course of studies:

**real estate management and facilities management**

seminar group:

**FM11w2-B**

first examiner:

**Prof. Dr.-eng. Jörg Mehlis**

second examiner:

**Prof. Dr.-eng Gerhard Gebhardt**

submission:

**Mittweida, 17.07.2015**

defence/evaluation:

**Mittweida, 2015**

## **Bibliografische Beschreibung:**

Schifferdecker, Hans:

Energetische Modernisierung eines Altbaus. - 2015. – V, 57, III S.

Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Maschinenbau, Bachelorarbeit, 2015

## **Referat:**

Diese Arbeit befasst sich, im Rahmen einer Komplettsanierung eines Altbaus, mit Maßnahmen zur energetischen Modernisierung. Das Gebäude ist im Jahre 1953 erbaut worden. Insbesondere werden Wärmedämmmaßnahmen vorgestellt, berechnet und auf deren Wirtschaftlichkeit untersucht. Folgend werden weitere Maßnahmen dargestellt, die zusätzlich für die Erreichung eines energetischen Standards, nach dem Stand der Technik und zum Wohl der Allgemeinheit, sorgen sollen. Aufgrund der erarbeiteten Maßnahmen wird ausgewählt, welche Maßnahme für eine mögliche Umsetzung in Frage kommt.

---

# Inhalt

<b>Inhalt.....</b>	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>IV</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>VI</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>VII</b>
<b>1      Einleitung.....</b>	<b>9</b>
1.1      Übersicht.....	9
1.1.1      Motivation.....	9
1.1.2      Zielstellung .....	11
1.1.3      Kapitelübersicht.....	11
<b>2      Grundlagenermittlung.....</b>	<b>12</b>
2.1      Allgemeine Daten zum Gebäude.....	12
2.1.1      Objektbeschreibung .....	12
2.1.2      Flächenangaben.....	14
2.1.3      Volumenangaben .....	15
2.1.4      Lüftung .....	15
2.1.5      Nutzerverhalten .....	15
2.1.6      Verbrauchsangaben .....	16
2.1.7      Betriebskosten .....	18
2.1.8      Ist-Zustand der Gebäudehülle .....	18
2.1.9      Zusammenfassung.....	21
2.2      Energetische Kennwerte .....	22
2.2.1      Energiebilanz .....	22
2.2.2      Energetische Bewertung .....	24
2.2.3      Auswirkungen auf die Umwelt .....	25
2.2.4      Ansätze für Modernisierungsmaßnahmen .....	25
<b>3      Bauphysikalische Modernisierung.....</b>	<b>27</b>
3.1      Modernisierung der Außenwände.....	28
3.1.1      Maßnahmenbeschreibung.....	28
3.1.2      Energiebilanz .....	28
3.1.3      Energetische Bewertung .....	30

---

3.1.4	Wirtschaftlichkeit .....	30
3.2	<i>Modernisierung der Kellerdecke</i> .....	32
3.2.1	Maßnahmenbeschreibung .....	32
3.2.2	Energiebilanz .....	33
3.2.3	Energetische Bewertung .....	35
3.2.4	Wirtschaftlichkeit .....	35
3.3	<i>Modernisierung der Außenwände und der Kellerdecke</i> .....	36
3.3.1	Maßnahmenbeschreibung .....	36
3.3.2	Energiebilanz .....	37
3.3.3	Energetische Bewertung .....	38
3.3.4	Wirtschaftlichkeit .....	38
3.4	<i>Modernisierung der Kellerdecke und des Daches</i> .....	39
3.4.1	Maßnahmenbeschreibung .....	39
3.4.2	Energiebilanz .....	40
3.4.3	Energetische Bewertung .....	41
3.4.4	Wirtschaftlichkeit .....	41
<b>4</b>	<b>Maßnahmenvergleich</b> .....	<b>42</b>
4.1	<i>Zusammenfassung der Daten</i> .....	42
4.1.1	Vergleich der Energiebilanz .....	42
4.1.2	Vergleich der energetischen Bewertung .....	43
4.1.3	Vergleich der Wirtschaftlichkeit .....	44
4.1.4	Entscheidungsfindung .....	45
<b>5</b>	<b>Gebäudetechnische Modernisierung</b> .....	<b>47</b>
5.1	<i>Modernisierungsmaßnahmen in der Versorgungstechnik</i> .....	47
5.1.1	Heiztechnik und Rohrleitungssysteme .....	47
5.1.2	Fenster austausch .....	49
5.1.3	Alternative Energien .....	50
5.1.4	Nahwärmeversorgungsnetz .....	53
<b>6</b>	<b>Fazit</b> .....	<b>55</b>
	<b>Literatur</b> .....	<b>58</b>
	<b>Tabellarischer Lebenslauf</b> .....	<b>60</b>

---

<b>Anlagen.....</b>	<b>61</b>
<b>Anlagen, Teil 1.....</b>	<b>I</b>
<b>Anlagen, Teil 2.....</b>	<b>VII</b>
<b>Anlagen, Teil 3.....</b>	<b>XXXII</b>
<b>Selbstständigkeitserklärung .....</b>	<b>XXXV</b>

---

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ansicht Süden; Quelle: Eigens Bild, September 2009 .....	9
Abbildung 2: Luftbild; Quelle: Google maps .....	13
Abbildung 3: Kette der Energiegewinnung .....	22
Abbildung 4: Energiebilanz Ist.....	23
Abbildung 5: Energieeffizienzklasse Ist.....	24
Abbildung 6: Energiebilanz M1 Außenwand.....	29
Abbildung 7: Energieeffizienzklasse M1 Außenwand .....	30
Abbildung 8: Energiebilanz M2 Kellerdecke .....	34
Abbildung 9: Energieeffizienzklasse M2 Kellerdecke .....	35
Abbildung 10: Energiebilanz M3 Außenwand und Kellerdecke.....	37
Abbildung 11: Energieeffizienzklasse M3 Außenwand und Kellerdecke.....	38
Abbildung 12: Energiebilanz M4 Kellerdecke und Dach .....	40
Abbildung 13: Energieeffizienzklasse M4 Kellerdecke und Dach .....	41
Abbildung 14: Energieeffizienzklasse M3.1 .....	49
Abbildung 15: Energieeffizienzklasse M3.2 .....	50
Abbildung 16: Nahversorgung      Abbildung 17: Nahversorgungsnetz .....	54



---

**Skizzenverzeichnis**

Skizze 1: Außenwand Ist	Skizze 2: Dach Ist	Skizze 3: Kellerdecke Ist.....	19
Skizze 4: Außenwand M1 .....			28
Skizze 5: Kellerdecke M2 .....			33
Skizze 6: Außenwand M3	Skizze 7: Kellerdecke M2.....		36
Skizze 8: Kellerdecke M4	Skizze 9: Dach M4 .....		39

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammenfassung der Ist-Werte.....	21
Tabelle 2: Kapitalwertmethode Ist.....	31
Tabelle 3: Wirtschaftlichkeit Maßnahme 1 - Maßnahme 4.....	45
Tabelle 4: Energiebedarf M3.2.....	55
Tabelle 5: Wirtschaftlichkeitsberechnung M3.2 .....	56
Tabelle 6: Einnahmenüberschuss M3.2 .....	56

---

## Abkürzungsverzeichnis

<b>A</b>	Wärmetauschende Umfassungsfläche
<b>Ad</b>	Dachfläche
<b>AdI</b>	Deckenfläche
<b>AEB</b>	Energiebezugsfläche
<b>Af</b>	Fensterfläche
<b>Afe</b>	Fensterfläche gesamt
<b>AG</b>	Gefachbreite
<b>Ag</b>	Grundfläche
<b>Aw</b>	Außenwandfläche
<b>BGF</b>	Bruttogrundfläche
<b>BRI</b>	Bruttorauminhalt
<b>DIN</b>	Deutsche Industrienorm
<b>EnEG</b>	Energieeinsparungsgesetz
<b>EnEV</b>	Energieeinsparungsverordnung
<b>ep</b>	Anlagenaufwandszahl
<b>f<sub>min</sub></b>	Abzinsungsfaktor
<b>HA</b>	Anlagenwärmeverluste
<b>Heizöl EL</b>	Heizöl extra leicht
<b>HG</b>	Wärmeverluste gesamt
<b>hr</b>	Raumhöhe
<b>HT</b>	Transmissionswärmeverlust
<b>HV</b>	Lüftungswärmeverlust
<b>M1,-M3.2</b>	Maßnahme 1 bis 3.2
<b>n</b>	Luftwechselrate

---

<b>NF</b>	Nutzfläche
<b>NGF</b>	Nettogrundfläche
<b>NRI</b>	Nettorauminhalt
<b>QE</b>	Endenergiebedarf
<b>QG</b>	Wärmegewinne gesamt
<b>QH</b>	Jahreswärmebedarf Heizung
<b>QI</b>	interne Wärmegewinne
<b>QP</b>	Primärenergiebedarf
<b>QS</b>	solare Wärmegewinne
<b>Qw</b>	Jahreswärmebedarf Warmwasser
<b>R</b>	Wärmedurchlasswiderstand
<b>TF</b>	technische Funktionsfläche
<b>tHp</b>	Heizzeit
<b>Ve</b>	beheiztes Gebäudevolumen
<b>VF</b>	Verkehrsfläche

# 1 Einleitung

Die Einleitung bietet einen ersten Überblick über den Inhalt dieser wissenschaftlichen Arbeit. Als erstes wird die Motivation des Autors, welche zur Aufgabenstellung bzw. Zielstellung führt, dargestellt. Des Weiteren erfolgt ein Überblick über die einzelnen Kapitel, die aus der Zielstellung resultieren.

## 1.1 Übersicht

### 1.1.1 Motivation



**Abbildung 1: Ansicht Süden; Quelle: Eigenes Bild, September 2014**

Es ist das Jahr 1953, Nachkriegszeit, und Deutschland befindet sich im Wiederaufbau. Nachdem der Zweite Weltkrieg sehr viel Schaden angerichtet hat und vielen Menschen das Zuhause genommen hat, muss das Zerstörte wieder aufgebaut werden. Demzufolge

erfährt die Produktion von Baustoffen und Baumaterialien einen regelrechten Boom, so auch die Ziegelindustrie. Ziegel werden am Fließband produziert. Ziegeleien werden zu einem wichtigen und starken Produzenten. In dieser für Ziegeleibesitzer finanziell sehr erfolgreichen Zeit ist das Objekt in Trittau an der Großenseer Straße entstanden. Erbaut wurde es mit den Ziegeln der familieneigenen Ziegelei. Nähert man sich diesem Gebäude, lässt sich die Geschichte in der Bauweise erkennen. Auf der Spitze einer kleinen Anhöhe am nördlichen Ortsrand Trittaus befindet sich das großzügige und weitläufige Grundstück mit dem erwähnten Gebäude. Bei Betrachtung des Wohngebäudes von außen stellt man fest, dass das Gebäude in die Jahre gekommen ist. Auch die imposante Bauweise lässt davon nicht ablenken, dass es sich um einen Altbau handelt. Das nunmehr über 60 Jahre alte Gebäude wurde im Laufe der Jahre nur geringfügig saniert und kaum modernisiert, was sich zunehmend negativ auswirkt und sich in Leckagen oder anderen reparaturbedürftigen Umständen widerspiegelt. Betrachtet man die Gebäudehülle oder allgemein die Bausubstanz, stellt man fest, dass das Gebäude trotz der 60 Jahre noch in einem akzeptablen Zustand ist. Lediglich einzelne kleinere Schwachstellen sind an manchen Stellen zu erkennen, welche meist durch die Witterung hervorgerufen worden sind. Im Inneren des Gebäudes wird bei der Betrachtung der Anlagentechnik deutlich, dass diese dem heutigen Standard schon lange nicht mehr entspricht. Neben der veralteten Anlagentechnik führt auch die zum großen Teil nicht vorhandene oder mangelhaft ausgeführte nachträgliche Wärmedämmung zu sehr hohen Energieverlusten. Dies alles führt dazu, dass die Gesamtenergieeffizienz des Gebäudes nicht positiv ausfällt. Daraus folgt, dass ein hohes Kosten- und Energieeinsparungspotenzial vorhanden ist. Des Weiteren steht die Energiebilanz im Widerspruch zu der gesunden und „grünen“ Lage des Wohnhauses, was sich im Ausstoß von zu vielen Abgasen widerspiegelt.

In dieser wissenschaftlichen Arbeit geht es daher um die energetische Modernisierung eines bestehenden Gebäudes, die im Umfang einer Komplettsanierung durchgeführt werden soll.

---

### 1.1.2 Zielstellung

Es werden bauphysikalische und gebäudetechnische Möglichkeiten dargestellt, mit dem Ziel, Energieverluste zu reduzieren bzw. zu vermeiden, um eine bessere Gesamtenergieeffizienz zu erreichen, die dem heutigen Stand der Technik entspricht und zum Wohl der Allgemeinheit ist.

Außerdem werden nicht nur die Ökonomie des Gebäudes, sondern auch die Auswirkungen auf die Ökologie untersucht.

### 1.1.3 Kapitelübersicht

Im Folgenden findet als erstes eine Feststellung des Ist-Zustandes des Gebäudes in **Punkt 2 Grundlagenermittlung** statt. Diese Grundlagenermittlung dient als Vergleichsbasis der einzelnen anschließenden Modernisierungsmaßnahmen, die in **Punkt 3 Bauphysikalische Modernisierung** bearbeitet werden. Anhand dieses Vergleiches werden die verbesserte Energieeffizienz und die Wirtschaftlichkeit der Modernisierungen in **Punkt 4 Maßnahmenvergleich** aufgezeigt und erörtert. In **Punkt 5 Gebäudetechnische Modernisierung** werden anschließend weitere Möglichkeiten dargestellt, die im Zuge der Komplettisanierung vorgenommen werden können. Schließlich wird in **Punkt 6 Fazit** die Entscheidung getroffen, welche Maßnahme für eine mögliche Umsetzung in Frage kommt. Alle nötigen Fotos, Grundrisse, Ansichten und Berechnungen sind in den **Anlagen** wiederzufinden.

## **2 Grundlagenermittlung**

Im diesem Kapitel wird der Ist-Zustand des Gebäudes dargestellt, welcher im Folgenden zur Aufstellung der Energiebilanz benötigt wird und des Weiteren zu Vergleichszwecken herangezogen wird. Allen angegebenen Werten gehen Berechnungen voraus, welche zu Anschauungszwecken in der Anlage Teil 02 zu finden sind. Falls es jedoch Werte sind, die vorher schon festgestellt worden sind und somit als Quelle dienen, werden diese als solche ausgewiesen und sind in der Quellenangabe wiederzufinden.

### **2.1 Allgemeine Daten zum Gebäude**

#### **2.1.1 Objektbeschreibung**

Großzügigkeit ist der geeignetste Begriff, um das Objekt zu beschreiben, denn diese ist in vielen Bauteilen und Bereichen des Gebäudes wiederzufinden. Das 1953 errichtete Gebäude ist in einer zeitlosen und regionsüblichen Bauweise gehalten. Mit den rostroten Vollziegeln, welche in der ehemaligen familieneigenen Ziegelei hergestellt worden sind, den dunkelbraunen Dachpfannen und den in Holz gehaltenen Fensterrahmen und Balkongeländern, spiegelt das Gebäude den Charakter der Umgebung wider und fügt sich hervorragend in das Grundstück ein, das zum einen von großen Rasenflächen und zum anderen von dichtem Mischwald gekennzeichnet ist. Das Gebäude ist in der spiegelverkehrten Form des Buchstaben „Z“ errichtet. Ein von Osten nach Westen verlaufender Zwischenbau, welcher den zentralen Eingangsbereich bildet, verbindet die zwei parallel von Norden nach Süden verlaufenden Hauptflügel. Das zweigeschossige Gebäude ist komplett unterkellert. Außerdem ist in dem westlichen Hauptflügel der Spitzboden ausgebaut. Auf diese unterschiedlichen Geschosse verteilen sich drei Wohneinheiten. Die eine Wohneinheit umfasst das gesamte Erdgeschoss. Die anderen beiden Wohneinheiten befinden sich jeweils in dem 1. Obergeschoss der beiden Hauptflügel. In dem Gebäude leben fünf Personen, welche sich auf die drei Wohneinheiten aufteilen.





**Abbildung 2: Luftbild; Quelle: Google maps**

Die spiegelverkehrte Z-Form des Gebäudes ist deutlich zu erkennen. Das helle Rechteck in der Rasenfläche ist ein Schwimmbad. Ergänzend ist zu erwähnen, dass das Grundstück an einen Gewerbepark angrenzt. In diesem Gewerbepark befindet sich ein Biokompost-Werk mit zusätzlicher Biogasanlage, die in Punkt 5 Gebäudetechnische Modernisierung noch eine Rolle spielen wird.

## 2.1.2 Flächenangaben

Die Angaben zur Fläche sind sehr wichtig, denn sie bilden die Grundlage, auf der alle weiteren Berechnungen basieren. Hierfür dienen als Definition der einzelnen unterschiedlichen Flächen die Deutsche Industrienorm 277 und die Energieeinsparungsverordnung 2009. Somit, ausgehend von der DIN-277<sup>1</sup> und der EnEV 2009<sup>2</sup>, können für das Objekt folgende Kennzahlen dargestellt werden.

Das gesamte Wohnhaus umfasst eine Bruttogrundfläche (BGF) von ca. 1.440 m<sup>2</sup>. Die Bruttogrundfläche ergibt sich aus der Konstruktionsgrundfläche (KGF) und der Nettogrundfläche (NGF). Die Konstruktionsfläche beträgt ca. 400 m<sup>2</sup> und die Nettogrundfläche somit ca. 1.040 m<sup>2</sup>. Anhand dieser Angaben lässt sich deutlich erkennen, dass das Gebäude einen sehr großzügigen Charakter, mit großen Räumen und Flächen, besitzt. Eine noch aussagekräftigere Darstellung bietet die Unterteilung der Nettogrundfläche. Diese ist in drei Bereiche unterteilt. In den 1.040 m<sup>2</sup> Nettogrundfläche sind ca. 930 m<sup>2</sup> Nutzfläche, ca. 30 m<sup>2</sup> technische Funktionsfläche und ca. 80 m<sup>2</sup> Verkehrsfläche enthalten. Dabei muss beachtet werden, dass bei dieser Berechnung das Kellergeschoss als vollwertiges Geschoss mit einbezogen wurde. Für den weiteren Verlauf muss angemerkt werden, dass das Kellergeschoss nicht vollständig beheizt wird. Damit keine ungenaue Einteilung in beheizte und unbeheizte Fläche vorgenommen wird, wird das gesamte Kellergeschoss als Kaltraum behandelt. Somit wird das Kellergeschoss in keiner energetischen Berechnung berücksichtigt.

Für die Aufstellung der Energiebilanz, so wie sie in der Energieeinsparungsverordnung (EnEV) beschrieben wird, und die dort enthaltenen Kenngrößen ist es nicht ausreichend, eine Flächenaufstellung nach DIN-277 zu erstellen. Es müssen zusätzlich Werte ermittelt werden, die jedoch leicht aus den bereits ermittelten Werten der DIN-277 zu errechnen sind. Die nach EnEV noch zusätzlich benötigten Flächenangaben sind zum einen die wärmetauschende Umfassungsfläche (A). Diese ist die äußere Gebäudehülle und beträgt in diesem Fall 1.778 m<sup>2</sup>. Zum anderen muss noch die Energiebezugsfläche (AEB), welche 954 m<sup>2</sup> beträgt, herangezogen werden. Die Energiebezugsfläche ist eine Kenngröße, wel-

---

<sup>1</sup> DIN 277 (2005) Bauwerksberechnung

<sup>2</sup> EnEV (2009) Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden

che im Folgenden weiterhin auftauchen wird. Die Energiebezugsfläche von 954 m<sup>2</sup> ist das Endergebnis, auf das der Autor bei der Flächenberechnung hingearbeitet hat. Es ist zu beachten, dass die Energiebezugsfläche nicht identisch mit der Nutzfläche (DIN-277) ist. Dies resultiert aus einer anderen Berechnungsweise. Die Energiebezugsfläche wird aus den Bruttogeschossflächen berechnet. Somit enthält dieser Wert noch die Konstruktionsflächen. Der Unterschied dieser zwei Ergebnisse ist zu erwähnen, jedoch ist er für die Richtigkeit der weiteren Berechnungen nicht von Relevanz.

### **2.1.3 Volumenangaben**

Analog zu der Flächenberechnung wird auch die Volumenberechnung gehandhabt. Als erstes wird das Gebäudevolumen nach der DIN-277 aufgeführt und anschließend durch die Angaben der EnEV ergänzt, um die benötigten Werte für die Energiebilanz darzustellen. Aufgrund dieser Berechnung beträgt der Bruttorauminhalt (BRI) 3.684 m<sup>3</sup>, der Nettorauminhalt (NRI) 2.664 m<sup>3</sup> und der Konstruktionsrauminhalt (KRI) 1.020 m<sup>3</sup>. Das beheizte Gebäudevolumen (Ve), eine zusätzliche Angabe nach EnEV, beträgt 2.825 m<sup>3</sup>. Es gibt das Volumen an, welches durch die wärmetauschende Umfassungsfläche (A) eingeschlossen wird.

### **2.1.4 Lüftung**

Die Lüftung ist, im konkreten Fall nicht Gegenstand der gebäudetechnischen Anlagen. Das Gebäude wird mittels Fensterlüftung belüftet, was durch den großen Fensteranteil mehr als ausreichend ist. Die gesamte Fläche der Fenster beläuft sich auf 191 m<sup>2</sup>. Daraus resultiert das Verhältnis von 0,107 zur wärmetauschenden Umfassungsfläche, was durch die hohe Anzahl von Fenstern bedingt ist. Doch die Großzügigkeit und Behaglichkeit, welche der große Fensteranteil mit sich bringt, birgt auch ein hohes Potenzial an Wärmeenergieverlusten. Der Berechnung zufolge gibt das Gebäude pro Jahr 35.088 kWh alleine durch das Lüften an die Umgebung ab.

### **2.1.5 Nutzerverhalten**

In dem Wohngebäude befinden sich drei Wohneinheiten, dennoch wird keine Unterteilung in jede Einzelne vorgenommen, da alle Bewohner Familienmitglieder sind und somit die räumlichen Grenzen eigentlich nur auf dem Grundriss vorhanden sind. Aus diesem Grund-

de ist keine Unterteilung nötig, und das Nutzerverhalten ist auf das gesamte Gebäude zu beziehen.

Die wichtigsten Eigenschaften des Nutzerverhaltens spiegeln sich in den Heizperioden wieder. Denn um Energie einzusparen, wird grundsätzlich nur in den kalten Monaten geheizt. Das heißt, dass nur in den Monaten des Herbsts, Winters und Frühlings geheizt wird. Daraus resultiert eine jährliche Heizzeit (tHP) von 4320h. Zusätzlich kommt es auch auf die Außentemperatur an. Diese ist jährlich schwankend und langfristig steigend aufgrund der globalen Erwärmung. Des Weiteren wird in den Monaten, in denen geheizt wird, eine weitere Einteilung vorgenommen. Benutzt wird dafür der Tag-Nacht-Rhythmus. Abends, wenn alle Personen zuhause sind, wird geheizt. Im Laufe der Nacht stellt sich die Heizung ab und fängt erst wieder am nächsten Morgen an, Wärme zu produzieren. Um eine genaue Berechnungsgrundlage zu haben, werden folgende Standardwerte zugrunde gelegt. Die mittlere Innentemperatur wird mit 19°C festgelegt, und die mittlere Außentemperatur liegt bei 6,3°C, was für diese Klimazone angemessen ist. Die Luftwechselrate befindet sich bei 0,70 1/h. Interne Wärmegewinne belaufen sich auf 27.416 kWh/Jahr<sup>3</sup>. Die internen Wärmegewinne sind zusätzliche Wärmegewinne, die durch die Personen, die das Gebäude nutzen, oder z.B. durch Elektrogeräte hervorgerufen werden. Doch das ist nicht die einzige Fremdenergiequelle. Durch die Sonneneinstrahlung ist das Objekt in der Lage, Wärme aus der Energie der Sonne zu speichern. Dieser solare Wärmegewinn beläuft sich auf 23.955 kWh/Jahr. Ein weiterer nutzerabhängiger Wert ist der Stromanteil, der zur Warmwasserzubereitung benötigt wird. Dieser beträgt 11.299<sup>4</sup> kWh/Jahr. Diese Angaben werden im weiteren Verlauf dieser Arbeit zu Rechnungen herangezogen und in dem jeweiligen Kapitel definiert und besprochen.

### 2.1.6 Verbrauchsangaben

In dem Gebäude befinden sich zwei Anlagen zur Erzeugung von Wärme, welche einerseits zum Heizen und andererseits zum Erhitzen von Wasser genutzt wird. Die allgemeine Wasserversorgung erfolgt durch eine vom öffentlichen Versorgungsnetz unabhängige Quelle, die sich auf dem Grundstück befindet. Das Wasser wird mittels einer Pumpe über eine unterirdische Wasserleitung in einen Druckwasserbehälter geleitet, der sich im Haus

---

<sup>3</sup> Vorher festgestellter Wert

<sup>4</sup> Vorher festgestellter Wert

befindet. Von diesem ausgehend, wird das Wasser, welches zum einen als Medium zur Energieübertragung (z.B. Heizung) und zum anderen als Trinkwasser und für die Bewässerung der Außenanlagen dient, aufgeteilt. Es wird zwischen der Energie für Heizwärme und der Energie für Warmwasseraufbereitung (Elektroboiler) unterschieden. Geheizt wird mit einem Standard-Kessel (65 kW) Logana 305 von Buderus. Als Brennstoff dient Heizöl (EL), welches in einem außerhäuslichen Erdtank aufbewahrt wird. Im ursprünglichen Zustand fasste der Tank 10.000 l, jetzt jedoch nur noch 9.000 l aufgrund einer innenliegenden Abdichtungsschicht, die vor Leckagen schützen soll. Im Keller befindet sich eine zentrale Wärmeerzeugung. Das Gebäude wurde in zwei Heizbereiche eingeteilt von jeweils 452m<sup>2</sup>. Die Verteilung erfolgt über gerade noch ausreichend gedämmte Leitungen aus Stahlrohren mit Gipsbindenummantelung mit einer Vorlauftemperatur von 70°C und einer Rücklauftemperatur von 55°C. Die Übergabe der Wärmeenergie erfolgt über freie Heizflächen, Radiatoren, die größtenteils innenliegend an den Außenwänden angebracht sind. Für die Berechnung des Brennstoffverbrauchs im Jahr 2014 wird der Durchschnittswert der letzten fünf Jahre<sup>5</sup> herangezogen, welcher sich auf 18.097 l beläuft. Umgerechnet entspricht dies einem Wert von 180.970 kWh/a. Bei der Umwandlung von Brennstoffen in Nutzenergie entstehen jedoch Energieverluste. Einer vorherigen Feststellung zufolge liegen die Anlagenverluste bei 50.484 kWh, mit einer Anlagenaufwandszahl von 1,7. Die Anlagenaufwandszahl beschreibt das Verhältnis vom Einsatz an Primärenergie zur umgewandelten Nutzenergie. Je niedriger die Anlagenaufwandszahl, desto effizienter wird die Primärenergie genutzt.

Für die Erzeugung der Wärmeenergie für Warmwasser wird eine dezentrale Warmwasseraufbereitung (E-Boiler) verwendet. Das Warmwasser wird durch Strom erhitzt, welcher in zwei Elektro-Tagesspeichern gespeichert wird. Da es zwei Elektro-Tagesspeicher gibt, wird das Gebäude in zwei Strombereiche eingeteilt. Der Strombereich 1 ist das gesamte Erdgeschoss zuzüglich der Wohneinheit im 1. Obergeschoss des Ostflügels. Der Strombereich 2 ist die Wohneinheit im 1. Obergeschoss des Westflügels. Im Strombereich 1 wird der durchschnittliche Verbrauchswert der letzten fünf Jahre als gültiger Wert für 2014 angenommen. Der Verbrauch von Strom liegt somit 2014 bei 12.730 kWh. Für den Strombereich 2 wird der durchschnittliche Wert der letzten zwei Jahre als gültiger Wert für 2014 angesetzt.<sup>6</sup> Der Wert für den Strombereich 2 beträgt 5.318 kWh. Somit erreicht das

---

<sup>5</sup> Durchschnittswert wird durch die letzten fünf Rechnungen über den Heizöl- und Stromverbrauch berechnet.

<sup>6</sup> Für den Strombereich 2 sind nur 2 Vergleichswerte vorhanden.

Objekt einen Gesamtstromverbrauch (inklusive aller stromverbrauchenden Anlagen) von 18.041 kWh. Da dieser Wert den gesamten Stromverbrauch darstellt, muss, um den Stromverbrauch für die Warmwasserbereitung zu erhalten, dieser Wert reduziert werden. Einer vorherigen Feststellung zufolge liegt der gesamte Stromverbrauch des Gebäudes (Strombereich 1 plus Strombereich 2) für die Warmwasserbereitung bei 11.299 kWh. Es ergibt sich nun ein Gesamtwert für den Wärmeenergieverbrauch für Warmwasser und Heizung von 192.269 kWh/a und bezogen auf die tatsächlich beheizte Fläche ein Gesamtwert von 201,5 kWh/m<sup>2</sup>a.

### 2.1.7 Betriebskosten

Das Betreiben der Anlagen zur Wärmegewinnung ist nicht kostenfrei. Um eine möglichst genaue Berechnung für die Brennstoffkosten und für die Stromkosten zu gewährleisten, wird der Preis errechnet aus dem Durchschnittsverbrauch der letzten 5 Jahre und dem tatsächlichen Preis pro Liter Heizöl und pro Kilowattstunde. Somit ergibt sich für die Erzeugung von Heizungswärme (Brennstoffkosten) eine Summe von 12.670 € bei 0,70 €/l. Der Wert der Stromkosten zur Warmwasseraufbereitung beläuft sich auf 3.006 € bei 0,27 €/l. Somit entsteht eine Gesamtsumme von 15.676 €.

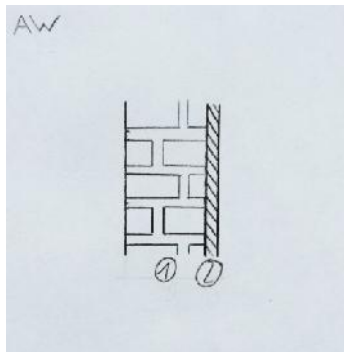
### 2.1.8 Ist-Zustand der Gebäudehülle

Um einen vollständigen Überblick über das Objekt zu bekommen, ist es notwendig sich auch die Gebäudehülle genauer anzuschauen. Die Gebäudehülle ist die Gesamtfläche aller Bauteile, die das Innere vom Äußeren trennt. Somit ist die Gebäudehülle auch die wärmetauschende Umfassungsfläche (A). Zum einen erhält man einen Überblick über die Beschaffenheit der Gebäudehülle und deren Kennzahlen und zum anderen lassen sich daraus Werte ableiten, die zur Aufstellung der Energiebilanz relevant sind. Diese Werte sind die Verluste von Wärmeenergie, die durch die einzelnen Bauteile von innen nach außen dringen. Der Grad dieser Verluste wird in Form des Wärmedurchgangskoeffizienten, dem U-Wert<sup>7</sup> (früher k-Wert), ausgedrückt. Für die Beschreibung des Ist-Zustandes

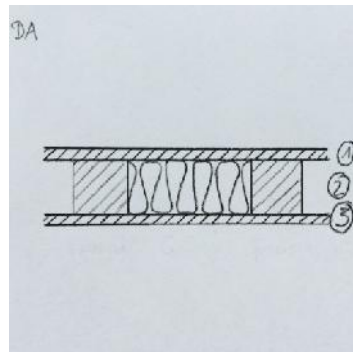
---

<sup>7</sup> DIN 4108 Wärmeschutz im Hochbau

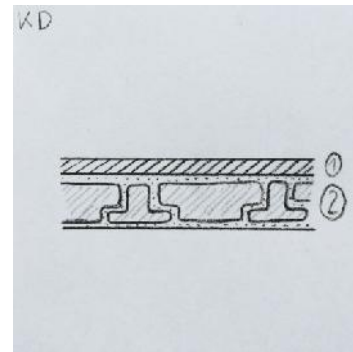
wird die Gebäudehülle in fünf Bauteile eingeteilt. Die Einteilung ist wie folgt: Außenwand, Dach, Kellerdecke, Fenster und Türen.



**Skizze 1: Außenwand Ist**



**Skizze 2: Dach Ist**



**Skizze 3: Kellerdecke Ist**

Bei der Betrachtung des Grundrisses stellt man fest, dass die Außenwände nicht überall baugleich sind. Da für die Entscheidungsfindung am Ende dieser Ausarbeitung ein Überblick aus Circa-Werten ausreichend ist, werden für die Außenwand folgende Daten angenommen. Die Außenwand besteht aus Kalksandstein-Vollziegeln (Dichte = 1600) mit einer Dicke von 35 cm und einer innenliegenden Gipsputzschicht ( = 1400) von 2 cm. An der Außenwand befindet sich keine Wärmedämmung. Anhand dieser Werte ergibt sich für die Außenwand ein U-Wert von  $1,43 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Zum Vergleich sind in der Energieeinsparungsverordnung maximale U-Werte für ähnliche Bauteile angegeben. Der maximale U-Wert nach der EnEV 2009 beträgt für Außenwände  $0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Daraus lässt sich sehr deutlich schließen, dass die Außenwände in diesem Zustand nicht den heutigen Ansprüchen genügen.

Auch die Beschaffenheit des Daches genügt nicht den heutigen Erfordernissen. Der Dachaufbau besteht aus einer Dämmschicht aus Mineralfasern (Gefachdämmung; DG 040). Die Dämmschicht mit einer Dicke von 15 cm wird oben und unten von einer Holzschalung ( = 600) ummantelt. Somit ergibt sich eine Gesamtdicke von 19 cm, da die Holzschalung je zwei cm dick ist. Der U-Wert für das Dach beträgt  $0,52 \text{ W/m}^2\text{K}$ . In der EnEV ist für das Dach ein maximaler U-Wert von  $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$  angegeben.

Die 25 cm dicke Kellerdecke besteht aus einer Stahlbetonbalkendecke mit einer 5 cm dicken Zementestrichschicht ( = 2000), die die Grundlage für den Bodenbelag im Erdgeschoss bildet. Der maximale U-Wert nach EnEV beträgt für Kellerdecken zwischen

---

Wohnbereich und nicht beheiztem Keller  $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Der berechnete Ist-Wert von  $1,62 \text{ W/m}^2\text{K}$  überschreitet diesen Wert sehr deutlich.

Für die Berechnung der U-Werte der Fenster findet eine Einteilung statt, die auf der DIN-4108 Tafel 120.1 und der Einstufung in Rahmengruppen basiert. Somit ergibt sich ein U-Wert von  $2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  für die Fenster in der Außenwand und ein U-Wert von  $3,2 \text{ W/m}^2\text{K}$  für die Dachfenster. Vergleichswerte nach der EnEV sind für Außenwandfenster  $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$  und für Dachfenster  $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Eine ähnliche Herangehensweise ist auch für die Außentüren anzusetzen. Nach EnEV 2009 Anlage 01 Tabelle 1 ergibt sich ein U-Wert für Außentüren von  $1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Der festgestellte Wert beim Objekt liegt jedoch bei  $2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Anhand dieses Vergleichs der U-Werte, der Ist-Zustand auf der einen und der maximale Wert nach EnEV auf der anderen Seite, ist es offensichtlich, dass das Gebäude energetisch in einem schlechten Zustand ist. Die Gebäudehülle lässt zu viel Wärmeenergie von innen nach außen dringen, was nicht nur zu einem hohen Energieverlust mit daraus resultierenden hohen Energiekosten führt, sondern auch zu einer unnötigen Belastung der Umwelt. Der Berechnung der Transmissionsverluste zufolge beträgt der abgegebene Wert  $110.077 \text{ kWh/a}$  für alle Bauteile.



### 2.1.9 Zusammenfassung

Da die Grundlagenermittlung eine Vielzahl von Werten ergab, sind in der nachfolgenden Tabelle alle wichtigen Werte zusammengefasst. Diese Werte bilden die Grundlage für die weiteren Berechnungen.

<b>Zusammenfassung der erforderlichen Werte für die Aufstellung einer Energiebilanz</b>	
basierend auf den Berechnungen in Anlage Teil 2	
Flächenangaben	
wärmetauschende Umfassungsfläche A	1.778 m <sup>2</sup>
Energiebezugsfläche AEB	954 m <sup>2</sup>
Volumenangaben	
beheiztes Gebäudevolumen V <sub>e</sub>	2.825,00 m <sup>3</sup>
Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte)	
Außenwand	1,40 W/m <sup>2</sup> K
Dach	0,52 W/m <sup>2</sup> K
Kellerdecke	1,62 W/m <sup>2</sup> K
Fenster	2,85 W/m <sup>2</sup> K
Tür	2,60 W/m <sup>2</sup> K
Energieverluste	
Transmissionsverluste HT	110.077 kWh/a
Lüftungsverluste HV	35.088 kWh/a
Anlagenverluste HA	50.484 kWh/a
Energiegewinne	
solare Warmegewinne QS	23.955 kWh/a
innere Warmegewinne QI	27.416 kWh/a
Bedarfsangaben	
Jahreswärmeenergie Heizung Q <sub>H</sub>	101.500 kWh/a
Jahreswärmeenergie Warmwasser Q <sub>W</sub>	11.299 kWh/a

**Tabelle 1: Zusammenfassung der Ist-Werte**

## 2.2 Energetische Kennwerte

### 2.2.1 Energiebilanz

Der Energiespardanke ist in der Politik und der Wirtschaft und aufgrund der begrenzten Primärenergiequellen sehr sinnvoll. Es sollte somit darauf geachtet werden, dass nur so viel Energie verbraucht wird, wie tatsächlich auch benötigt wird. Somit müssen unnötige Energieverluste reduziert bzw. komplett vermieden werden. Neben der vermeidbaren Erhöhung der Energieverbrauchskosten stellen Energieverluste zusätzlich eine Belastung der Umwelt dar. In Anbetracht dieser Tatsachen gibt es ein Verfahren, aufgestellt in der Energieeinsparungsverordnung (EnEV), welches ermöglicht, eine Energiebilanz für Immobilien aufzustellen. Die EnEV stellt energetische Anforderungen, denen die zu errichtenden Gebäude gerecht werden müssen. Dieses Verfahren lässt sich nicht nur bei der Planung von Neubauten anwenden, sondern auch auf bestehende Gebäude (Altbauten) anwenden. Das Verfahren zur Gesamtenergiebilanz stützt sich auf die bereits in Punkt 2.1 berechneten Werte der Grundlagenermittlung und ist somit die Fortsetzung mit dem Ziel, die energetische Situation des Objektes darzustellen. Die Vorgehensweise besteht darin, den tatsächlichen Bedarf an Wärmeenergie aufzuzeigen, den es zu decken gilt. Um ausreichend Energie für den Bedarf herzustellen, werden Primärenergieträger in Endenergie umgewandelt. Bei diesem Umwandlungsprozess<sup>8</sup> kann die Primärenergie nicht im kompletten Umfang in Endenergie umgewandelt werden, da bei jedem Umwandlungsprozess der Energien Verluste entstehen. Somit ist die Endenergie nicht der endgültige Wert, welcher den tatsächlichen energetischen Zustand des Gebäudes beschreibt. Hierfür benötigt man den Jahresbedarf an Primärenergie, denn dieser beinhaltet alle Werte, die es zu berücksichtigen gilt.



**Abbildung 3: Kette der Energiegewinnung**

<sup>8</sup> Leuscher, Udo: Energie Wissen. In: [www.udo-leuscher.de](http://www.udo-leuscher.de)

In den folgenden Kapiteln wird anhand des beschriebenen Verfahrens der energetische Zustand des Gebäudes dargestellt. Zusätzlich zeigen Emissionswerte, in welchem Umfang sich der Jahresprimärenergiebedarf auf die Umwelt auswirkt. Die erhaltenen Werte werden Aufschlüsse über mögliche Ansatzpunkte für Modernisierungsmaßnahmen aufzeigen. Die Energiebilanz<sup>9</sup> stellt auf der einen Seite die einzelnen Wärmeenergieverluste (Anlagen, Lüftung, Transmission) und auf der anderen Seite die einzelnen Wärmeenergiegewinne (innere, solare) dar und bringt sie in einen Zusammenhang. Bei der Gegenüberstellung aller Verluste aus Anlagen, Lüftung und Transmissionen zu den Gewinnen an solarer und interner Wärmeenergiegewinne wird festgestellt, dass auf der Gewinnseite ein großes Defizit an Wärmeenergie vorzufinden ist. Diese fehlende Wärmeenergie ist der Bedarf, der durch das Verbrennen von Heizöl gedeckt werden muss. Somit ist dieses Defizit die Endenergie (QE). Da das Ziel einer Bilanz die Ausgeglichenheit ist, ist dieses Defizit die Differenz zwischen Wärmeverlusten und Energiegewinnen. Der Endenergiebedarf in dem zu bewertenden Gebäude beläuft sich auf 144.279 kWh/a.

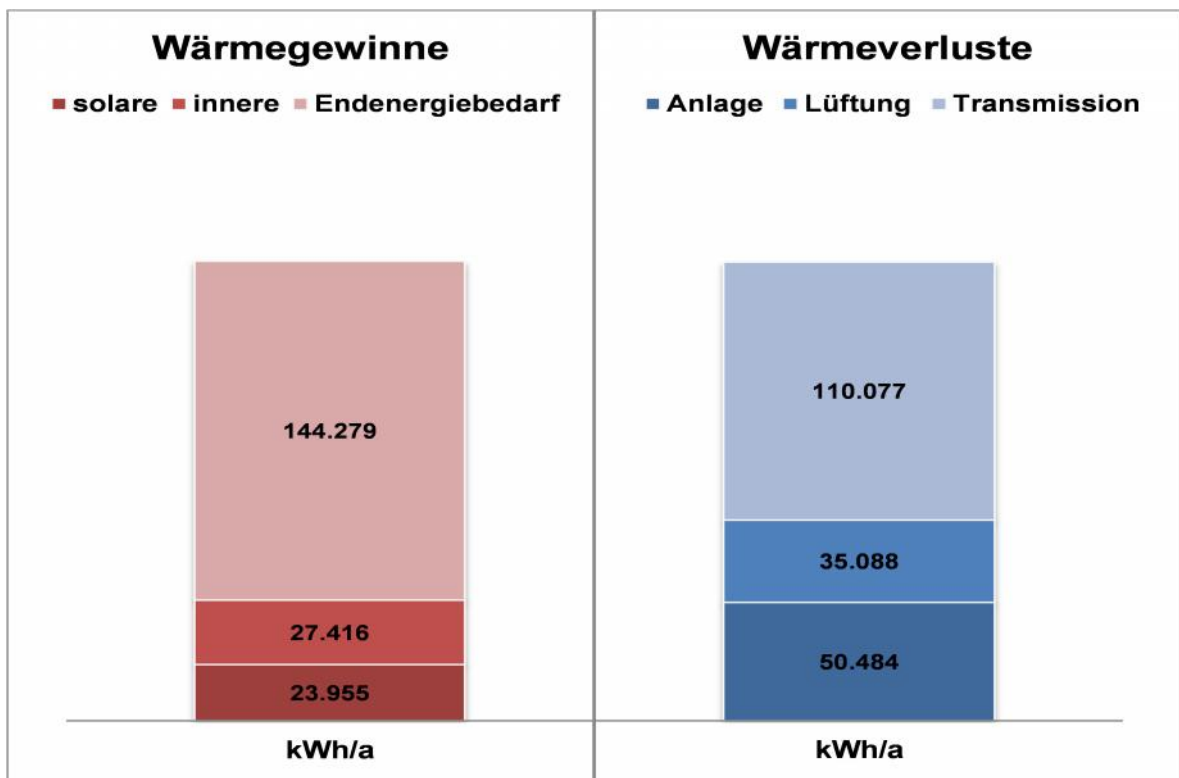


Abbildung 4: Energiebilanz Ist<sup>10</sup>

<sup>9</sup> DIN V 18599-1 Bilanzierungsverfahren

<sup>10</sup> Endenergiebedarf = Energieverluste (gesamt) – Energiegewinne (gesamt)

## 2.2.2 Energetische Bewertung

Der Kennwert aufgrund dessen eine Bewertung vorgenommen werden kann, ist der Jahresprimärenergiebedarf. Er ist der Bedarf an Energie, welche die Energieträger im Urzustand enthalten, also bevor Weiterverarbeitungen und Veredelungen in Kraftwerken und Verbrennungen in gebäudetechnischen Anlagen stattgefunden haben. Dieser Wert muss somit höher sein als der Endenergiebedarf. Nach dem Gesamtenergiebilanzverfahren ergibt sich der Jahresprimärenergiebedarf (QP) entweder aus Endenergiebedarf multipliziert mit dem Primärenergiefaktor oder aus der Summe des jährlichen Wärmeenergiebedarfs für Heizung (QH) und dem jährlichen Wärmeenergiebedarf für Warmwasser (QW) multipliziert mit der Anlagenaufwandszahl (ep). Bei der ersten Methode ist zu beachten, dass diese im konkreten Fall nicht angewandt werden kann, da es eine getrennte Wärmebereitung für die Heizung und für das Warmwasser gibt. Somit kommt nur die zweite Methode in Frage, nach der sich ein Jahresprimärenergiebedarf von insgesamt 191.759 kWh/a errechnen lässt. Dieser Wert muss noch auf die Energiebezugsfläche bezogen werden, da die Angabe des Primärenergiebedarfs einer Flächenangabe bedarf. Der endgültige Wert des Primärenergiebedarfs für das zu untersuchende Objekt beträgt 201 kWh/m<sup>2</sup>a. Beim Vergleich dieses Wertes mit dem tatsächlichen Verbrauch (2.1.6), wird erkannt, dass diese beiden Werte fast identisch sind. Die kleine Differenz kommt aufgrund von Rundungsunterschieden zustande, welche jedoch im Toleranzbereich liegen. Somit stimmt der berechnete Wert mit der Wirklichkeit überein und kann daher als Vergleichswert für die Modernisierungsmaßnahmen herangezogen werden. Des Weiteren bietet der Primärenergiebedarf die Möglichkeit, das Gebäude in Effizienzklassen einzuteilen. In diesem Fall befindet sich das Gebäude am Übergang zwischen Klasse F und Klasse G und somit im einem mittleren bis hohen Bereich. Diese Einteilung in Effizienzklassen findet vor allem bei Energieausweisen statt.

<div>Einteilung des Primärenergiebedarfs in kWh/m²a in Energieeffizienzklassen</div> <div>tatsächlicher Zustand</div>	<div>201</div>									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	niedrig			mittel				hoch		
	Energieeffizienzklassen									

**Abbildung 5: Energieeffizienzklasse Ist<sup>11</sup>**

<sup>11</sup> DIN 18599 Energetische Bewertung von Gebäuden

Diese Energieausweise sind Zeugnisse über die energetische Situation eines Gebäudes, die sowohl im Energieeinsparungsgesetz<sup>12</sup> als auch in der Energieeinsparungsverordnung<sup>13</sup> definiert werden. Das in dieser wissenschaftlichen Arbeit behandelte Gebäude ist im Jahr 1953 erbaut, somit entfällt die Energieausweispflicht.

### 2.2.3 Auswirkungen auf die Umwelt

Neben den finanziellen Auswirkungen, die ein hoher Energieverbrauch mit sich bringt, wird auch die Umwelt durch den Umwandlungsprozess der Energien belastet. Dieser äußert sich in der Emission von chemischen Bindungen. Diese Emissionen tragen zur Luftverschmutzung bei. Auswirkungen auf die Umwelt können z.B. saurer Regen, Abbau der Ozonschicht oder Smogbildung sein. Aufgrund des Primärenergiebedarfs lassen sich Aussagen über die Höhe der Emissionen treffen. Es entstehen Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>), Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) und sogenannte Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>). Als Vergleichswert für die Modernisierungsmaßnahmen gibt der Wert für die CO<sub>2</sub>-Emission von insgesamt 57 Kg/m<sup>2</sup>a am meisten Aufschluss, da sowohl der SO<sub>2</sub>- als auch NO<sub>x</sub>-Wert sehr gering sind.

### 2.2.4 Ansätze für Modernisierungsmaßnahmen

Es fällt sicherlich nicht schwer, anhand der bisher festgestellten Ergebnisse Ansatzpunkte für die Modernisierungsmaßnahmen zu finden. Die Energiebilanz bietet am eindeutigsten Hinweise auf mögliche Ansätze. Bei der Betrachtung der Wärmeverluste, ist zu erkennen, dass der größte Anteil daran der Transmissionsverlust ist. Da dieser sich auf die Gebäudehülle bezieht, kann der Transmissionsverlust noch weiter aufgeteilt werden. Aufgrund der jeweiligen prozentualen Anteile der Bauteile ist festzustellen, welches der Bauteile am meisten Wärme an die Umwelt abgibt. Das Bauteil mit dem größten Wärmeverlust ist die Außenwand mit 30%. Danach reihen sich die Fenster mit 28%, die Kellerdecke mit 21% und das Dach mit 18% ein. An letzter Stelle, mit am wenigsten Wärmeverlusten, sind die Türen mit 3% zu nennen. Da dieser Anteil sehr gering ist, bieten die Türen keinen geeigneten Ansatzpunkt.

---

<sup>12</sup> EnEG (2013) Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden

<sup>13</sup> EnEV (2009) Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden

Um eine weitere Energieeinsparung zu erzielen, ist es sinnvoll, den zweitgrößten Anteil der Wärmeverluste, die Anlagenverluste, zu betrachten. Eine Reduzierung der Anlagenverluste ist mit dem Austausch der alten Anlage durch eine moderne Anlage zu erreichen. Es ist weiterhin sinnvoll, die Anlagenverluste und die Bauteile für die Modernisierung in Betracht zu ziehen, die einen hohen Anteil an den Transmissionsverlusten besitzen. Denn je kleiner die Transmissions- und Anlagenverluste sind, desto kleiner sind die Gesamtverluste und somit schließlich auch der Endenergiebedarf. Das hat zur angestrebten Folge, dass auch der Primärenergiebedarf sinkt. Folglich ist dann das Gebäude in eine niedrigere Effizienzklasse einzuordnen, da das Verhältnis zwischen Primärenergie und Endenergie geringer wird.

---

### 3 Bauphysikalische Modernisierung

Werden die prozentualen Anteile der Bauteile betrachtet, in welche sich die Transmissionsverluste einteilen, ist es sinnvoll, die Modernisierungsmaßnahmen anhand dieser Anteile vorzunehmen. Außerdem ergibt sich die Auswahl der Maßnahmen zwangsläufig durch die Bausubstanz. Das Gebäude weist nämlich unterschiedliche Isolierungen von Bauteilen auf, wie z.B. die nachträgliche teilweise Isolierung des Daches.

Die in Punkt 2.2.4 festgestellten Ansatzpunkte für Modernisierungsmaßnahmen werden nun daraufhin überprüft, inwieweit energetische Verbesserungen zustande kommen können, um das Ziel, die Erreichung des heutigen Energiestandards, zu gewährleisten.

Im Folgenden werden Wärmedämmmaßnahmen untersucht. Die Modernisierung der Gebäudetechnik wird im Punkt 5. Gebäudetechnische Modernisierung behandelt.

Die einzelnen Maßnahmen sind unabhängig voneinander zu betrachten, obwohl teilweise eine Kombination erfolgt. Trotzdem sind die Maßnahmen als eigenständige Vorgehensweise zu behandeln, und am Ende wird eine Maßnahme ausgewählt.

Die detaillierten Berechnungen, nach der EnEV 2009<sup>14</sup>, zu den einzelnen Maßnahmen befinden sich in der Anlage Teil 02.

---

<sup>14</sup> Die Berechnungen der EnEV basieren auf der DIN 4108, der DIN 4701, der DIN 18599, der DIN EN ISO 6946

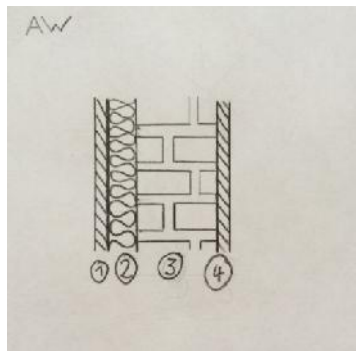
## 3.1 Modernisierung der Außenwände

### 3.1.1 Maßnahmenbeschreibung

Gegenstand der ersten Modernisierungsmaßnahme sind die Außenwände.

Die Außenwände haben einen Anteil an den Transmissionsverlusten von 30%, die sich auf 33.335 kWh pro Jahr belaufen.

Um den Wärmeverlust der Außenwände zu reduzieren, wird im Zuge dieser Modernisierungsmaßnahme den Außenwänden eine äußere Dämmschicht mit Oberputz hinzugefügt. Die Dämmschicht besteht aus 12 cm Polystyrolschaum (DG 040) und der Oberputz aus Zementputz ( $\rho = 2000$ ). Bei solchen Wärmedämmverbundsystemen muss darauf geachtet werden, dass sich am Innenputz oder in der Außenwand kein Tauwasser bildet.



**Skizze 4: Außenwand M1**

1. Zementputz 2. Dämmschicht aus Polystyrol 3. Kalksandstein-Vollziegel 4. Gipsputz

Aufgrund der vorgenommenen Maßnahmen verändert sich der U-Wert der Außenwand von ursprünglichen  $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$  auf  $0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Somit liegt der verbesserte U-Wert innerhalb der von der Energieeinsparung festgelegten maximalen Werte.

### 3.1.2 Energiebilanz

Da der U-Wert den Grad angibt, in welchem Umfang Wärme durch das Bauteil verloren geht, sinkt mit dem U-Wert auch der Transmissionsverlust durch die Außenwand. Durch die Modernisierungsmaßnahme sinkt der Transmissionsverlust der Außenwand von ursprünglichen 33.335 kWh/a auf 6.666 kWh/a. Aufgrund der sinkenden Wärmeverluste durch die Außenwand sinkt demzufolge auch der Gesamtwärmeverlust. Demnach ist es notwendig, eine neue Energiebilanz aufzustellen, denn resultierend aus dieser Energiebi-



lanz liegt der Endenergiebedarf nun bei 117.610 kWh/a. Das bedeutet eine Endenergieeinsparung von 26.669 kWh/a.

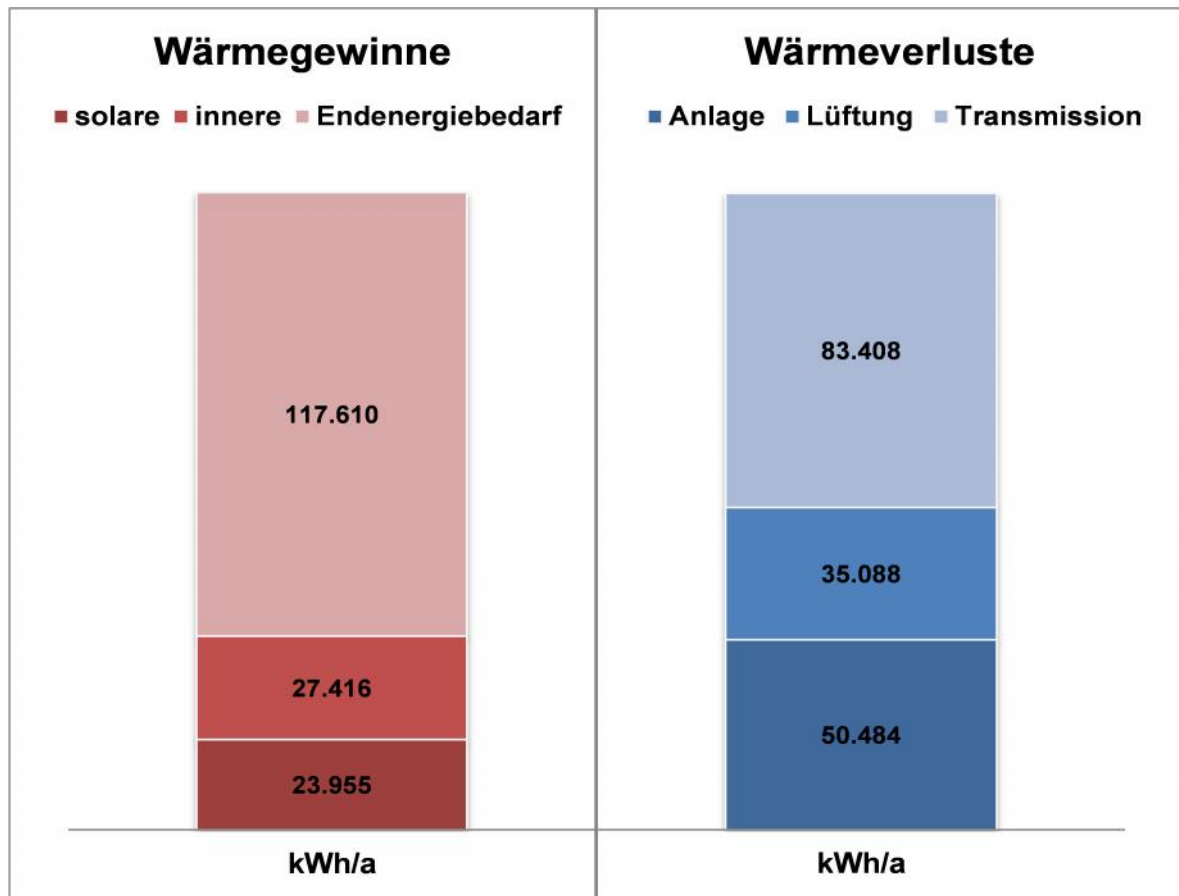


Abbildung 6: Energiebilanz M1 Außenwand<sup>15</sup>

<sup>15</sup> Endenergiebedarf = Energieverluste (gesamt) – Energiegewinne (gesamt)

### 3.1.3 Energetische Bewertung

Die zusätzliche Wärmedämmungsmaßnahme der Außenwand wirkt sich auch auf den Primärenergiebedarf aus, da aufgrund des reduzierten Wärmeverlusts auch weniger Energie aufgebracht werden muss, um das Gebäude zu heizen. Der neue niedrigere Wert für den Jahreswärmebedarf für die Heizung liegt nun bei 74.832 kWh/a. Anhand dieses Wertes lässt sich der Jahresprimärenergiebedarf berechnen, welcher nach der Modernisierung 146.422 kWh/a beträgt. Dies entspricht einem Wert von 153 kWh/m<sup>2</sup>a. Anhand der Einstufung in Energieeffizienzklassen liegt das Objekt nun im Übergang zwischen Klasse E und Klasse F und somit eine Klasse niedriger als zuvor.

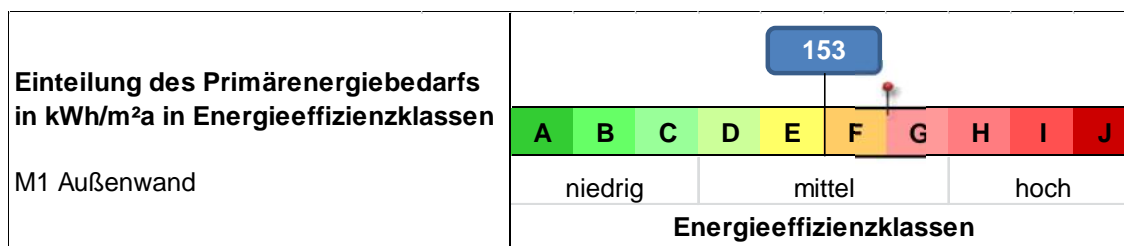


Abbildung 7: Energieeffizienzklasse M1 Außenwand<sup>16</sup>

Aufgrund des gesunkenen Jahreswärmebedarfs für die Heizung ergibt sich auch ein neuer Wert für die Emissionen. Der CO<sub>2</sub>-Wert beträgt nun nur noch 47,8 Kg/m<sup>2</sup>

### 3.1.4 Wirtschaftlichkeit

Die Modernisierungsmaßnahmen sorgen dafür, dass Energie eingespart wird, wodurch Kosten gespart werden. Doch die Umsetzung solcher Maßnahmen ist auch mit Kosten verbunden. Die Investitionskosten der Modernisierungsmaßnahmen sind hoch. Nicht nur die Materialkosten, z.B. für die zusätzliche Wärmedämmung, sondern auch die Montage der Materialien sind zu berücksichtigen. Im Folgenden wird die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen überprüft. Es ist zu klären, ob sich überhaupt eine Umsetzung nach Vorgabe der Modernisierungsmaßnahmen lohnt. Dabei ist darauf zu achten, dass eine Maßnahme mit vergleichsweise geringen Kosten, jedoch mit hoher Energieeinsparung die geeignetste

<sup>16</sup> DIN 18599 Energetische Bewertung von Gebäuden

ist. Die Wirtschaftlichkeit wird anhand der Kapitalwertmethode<sup>17</sup> festgestellt. Als vorbereitende Maßnahmen für diese Berechnungsmethode ist eine Zeitspanne festzulegen, die als Betrachtungszeitraum dient. Dieser Betrachtungszeitraum spielt eine große Bedeutung in der Wirtschaftlichkeits- bzw. der notwendigen Amortisationsberechnung. Der Betrachtungszeitraum, welcher auch gleich der eventuelle Abschreibungszeitraum ist, liegt hier bei  $n=30$  Jahren. Darüber hinaus muss ein Aufzinsungsfaktor  $q$  mit in die Berechnung einfließen, der sich aus dem kalkulatorischen Zinssatz  $p=5,5\%$  ergibt. Die Kapitalwertmethode basiert auf drei grundlegenden Berechnungen. Die erste Berechnung dient zu Ermittlung des Kapitalwertes der Ausgaben, welcher die Gesamtkosten der Maßnahmen beschreibt. Die Gesamtkosten setzen sich aus einer Anfangsinvestition und den in den 30 Jahren jährlich anfallenden Brennstoffkosten zusammen. Den Gesamtkosten wird der Kapitalwert der Einnahmen gegenübergestellt. Es ist zu untersuchen, ob diese Einnahmen, die gleichzusetzen sind mit der Energieeinsparung, die Gesamtkosten im Laufe der 30 Jahre amortisiert werden können. Die dritte Berechnung dient zur Überprüfung, ob sich die Kosten überhaupt amortisieren. Dies wird ermittelt, indem von den Gesamteinnahmen die Gesamtkosten subtrahiert werden. Wenn der Kapitalüberschuss größer ist als die Gesamtkosten, wird sich die Investition amortisieren. Ist dies nicht der Fall, wird die Amortisation erst später erfolgen und somit trifft in diesem Fall keine Wirtschaftlichkeit der Maßnahme zu. Bevor jedoch die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ermittelt werden kann, müssen Vergleichswerte, basierend auf dem Ist-Zustand, berechnet werden, aus denen dann später die Energieeinsparungen, hauptsächlich in Form von geringeren Brennstoffkosten, berechnet werden können.

Ist-Zustand							
Ausgangswerte					Ermittlung von Et		
Arbeitspreis in €	Verbrauch in l	n in Jahre	p in %	qt $1+p/100$	At IST in €	At M in €	Et in €
0,70	18.097	30	5,500	1,055	12.668		0
Ausgaben			Einnahmen		Kapitalwert der Überschüsse		
At in €	Ai in €	KA in €	Et in €	KE in €	KE in €	KA in €	C in €
12.668	0	360.229	0	0	0	0	0

**Tabelle 2: Kapitalwertmethode Ist**

<sup>17</sup> Lucker, Bernd; Nollau, Volker; Vettters, Klaus: Mathematische Formeln für Wirtschaftswissenschaftler, S.56

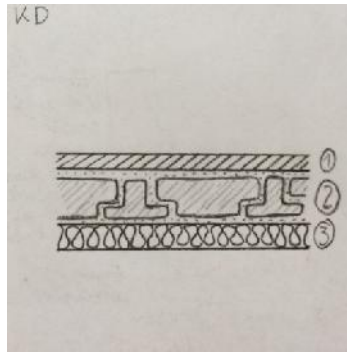
Anhand dieser Tabelle ist ersichtlich, dass jährlich Brennstoffkosten in der Höhe von ungefähr 12.668 € anfallen, welche den tatsächlichen Verbrauchskosten entsprechen. Energieeinsparungen fallen im Ist-Zustand nicht an und somit finden keine Einnahmen statt. Daher würden sich die Kosten in 30 Jahren auf 360.229 € belaufen. Anhand der Tabelle der Modernisierungsmaßnahmen sollen diese Energiekosten reduziert werden. Die Tabelle zur Wirtschaftlichkeit der Maßnahme 1 Außenwand (s. Anlage Teil 02) gibt Aufschluss über die Reduzierung der Energiekosten. Wird die Kapitalwertmethode mit der Maßnahme 1 durchgeführt, ist festzustellen, dass es anhand dieser Maßnahme möglich ist, wirtschaftlich Energie einzusparen. Die Kapitalwertmethode ist eine Methode, die die Wirtschaftlichkeit von Investitionen prüft. Zusätzlich zur Anfangsinvestition werden auf den festgelegten Zeitraum jährlich Ein- und Ausgaben prognostiziert, wobei bei optimalen Bedingungen die Einnahmen höher sind als die Ausgaben und somit ein Überschuss erwirtschaftet wird. Ist dies der Fall, dann ist die Investition wirtschaftlich, und es ist sogar eine Amortisation der Investition möglich. Aufgrund der zugrundeliegenden Berechnung, welche sich in der Anlage Teil 02 befindet, ist zu erkennen, dass die Maßnahme 1 (Außenwand) wirtschaftlich ist. Es wird in den 30 Jahren ein Kapitalwert der Einnahmenüberschüsse von 58.252 € erreicht. Somit lässt sich sogar ein Amortisationszeitraum berechnen, der hier bei ca. zwei Jahren liegt.

## **3.2 Modernisierung der Kellerdecke**

### **3.2.1 Maßnahmenbeschreibung**

Gegenstand der Modernisierungsmaßnahme ist die Kellerdecke.

Die Kellerdecke hat einen Anteil an den Transmissionsverlusten von 21%, die sich auf 22.686 kWh/a belaufen. Um den Wärmeverlust der Kellerdecke zu reduzieren, wird im Zuge dieser Modernisierungsmaßnahme der Kellerdecke eine Dämmschicht hinzugefügt. Die Dämmschicht besteht aus 10 cm Polystyrolschaum (DG 040) und wird von unten an der Kellerdecke befestigt und nicht verkleidet. Eine Verkleidung der Dämmschicht ist deshalb nicht notwendig, da es sich im Keller nicht um Wohnräume handelt. Somit spielt die Optik keine Rolle.

**Skizze 5: Kellerdecke M2**

1. Zementestrich      2. Stahlbetonbalkendecke      3. Dämmschicht aus Polystyrol

Aufgrund der vorgenommenen Maßnahme verändert sich der U-Wert der Kellerdecke von ursprünglichen  $1,62 \text{ W/m}^2\text{K}$  auf  $0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Der U-Wert nach der Modernisierung erreicht nicht ganz den von der EnEV festgelegten maximalen U-Wert. Der modernisierte U-Wert überschreitet diesen immer noch, jedoch nur um  $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

### 3.2.2 Energiebilanz

Da der U-Wert den Grad angibt, in welchem Umfang Wärme durch das Bauteil verloren geht, sinkt mit dem U-Wert auch der Transmissionsverlust durch die Kellerdecke. Durch die Modernisierungsmaßnahme sinkt der Transmissionsverlust der Kellerdecke von ursprünglichen  $22.686 \text{ kWh/a}$  auf  $4.494 \text{ kWh/a}$ .

Aufgrund der sinkenden Wärmeverluste durch die Kellerdecke sinkt demzufolge auch der Gesamtwärmeverlust. Eine neue Energiebilanz ist somit sinnvoll, denn resultierend aus dieser Energiebilanz liegt der Endenergiebedarf nun bei  $126.271 \text{ kWh/a}$ . Das bedeutet eine Endenergieeinsparung von  $18.008 \text{ kWh/a}$ .

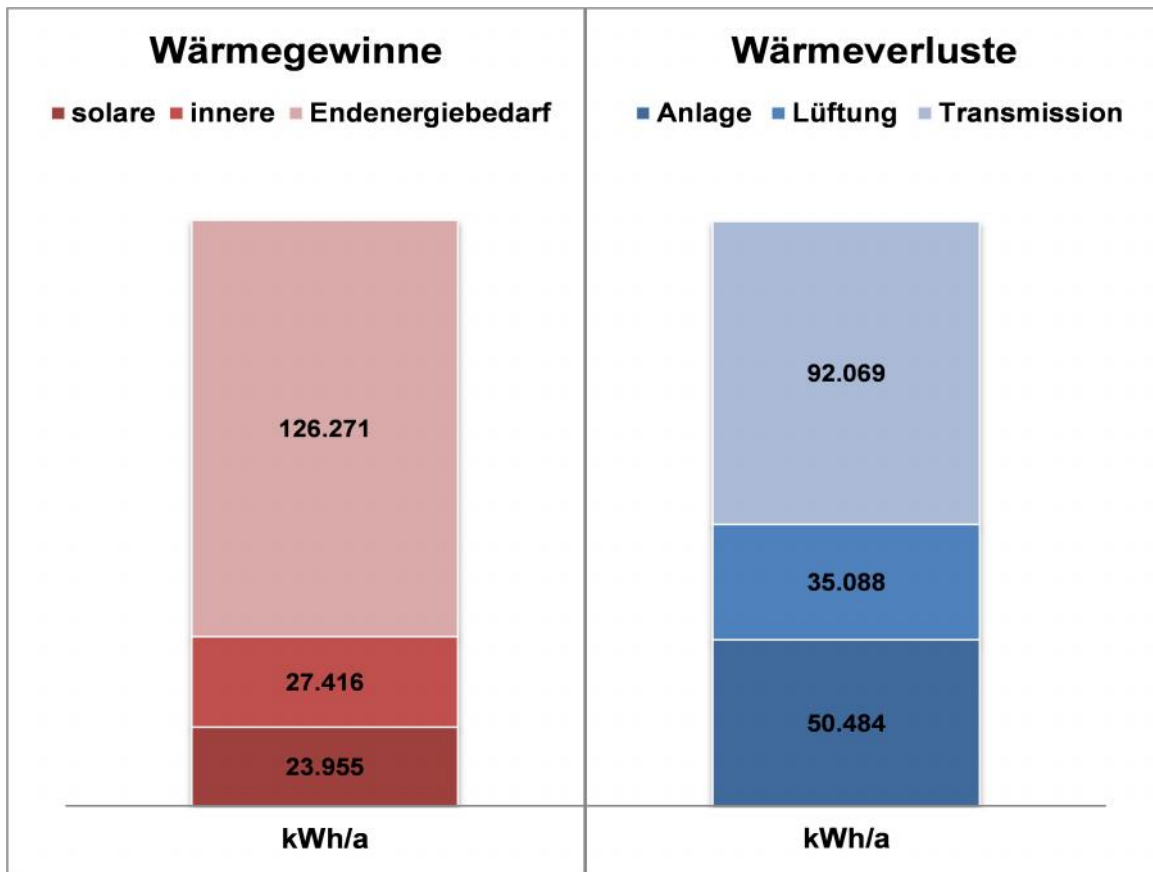


Abbildung 8: Energiebilanz M2 Kellerdecke<sup>18</sup>

<sup>18</sup> Endenergiebedarf = Energieverluste (gesamt) – Energiegewinne (gesamt)

### 3.2.3 Energetische Bewertung

Die zusätzliche Wärmedämmungsmaßnahme der Kellerdecke wirkt sich auf den Primärenergiebedarf aus. Aufgrund des reduzierten Wärmeverlusts wird weniger Energie aufgebracht, um das Gebäude zu heizen. Der neue niedrigere Wert für den Jahreswärmebedarf für die Heizung liegt bei 83.492 kWh/a. Anhand dieses Wertes lässt sich auch der Jahresprimärenergiebedarf berechnen, welcher nach der Modernisierung 161.145 kWh/a beträgt. Dies entspricht einem Wert von 168 kWh/m<sup>2</sup>a. Anhand der Einstufung in Energieeffizienzklassen liegt das Objekt nun in der Klasse F.

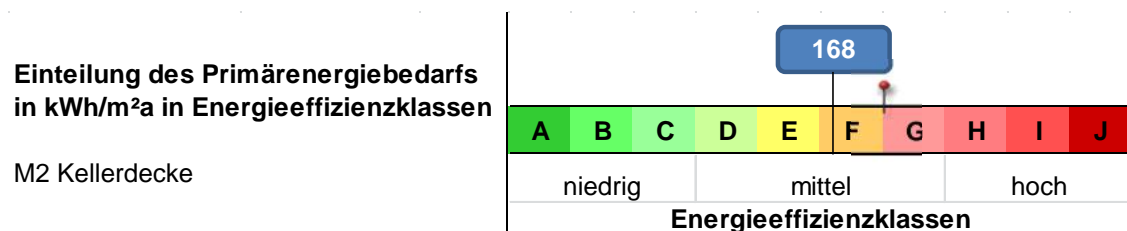


Abbildung 9: Energieeffizienzklasse M2 Kellerdecke<sup>19</sup>

Aufgrund des gesunkenen Jahreswärmebedarfs für die Heizung ergibt sich auch ein neuer Wert für die Emissionen. Der CO<sub>2</sub>-Wert beträgt nun nur noch 51 Kg/m<sup>2</sup>.

### 3.2.4 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung wird ebenfalls mit der Kapitalwertmethode berechnet. Der Berechnung wurden die gleichen konstanten Ausgangsparameter zugrunde gelegt.

Anhand der Tabelle zur Wirtschaftlichkeit der Maßnahme 2 (Kellerdecke) lässt sich erkennen, dass auch hier ein positiver Kapitalwert der Einnahmenüberschüsse erwirtschaftet wurde. Dieser beläuft sich auf 23.425 € in dem Betrachtungszeitraum von 30 Jahren. Für die Amortisationszeit ist mit einem Wert von ca. sechs Jahren zu rechnen.

<sup>19</sup> DIN 18599 Energetische Bewertung von Gebäuden

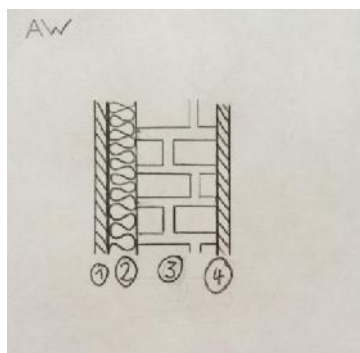
### 3.3 Modernisierung der Außenwände und der Kellerdecke

#### 3.3.1 Maßnahmenbeschreibung

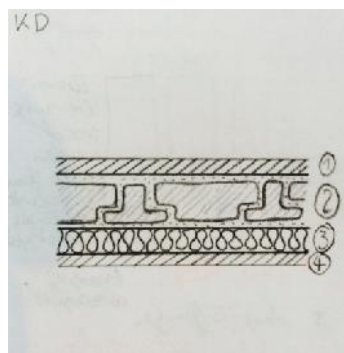
Gegenstand der Modernisierungsmaßnahme sind die Kellerdecke und die Außenwand.

Die Kellerdecke und die Außenwand haben einen Anteil an den Transmissionsverlusten von 51%. Sie belaufen sich auf 56.021 kWh pro Jahr.

Aufgrund der vorherigen zwei Maßnahmen ist die neue Strategie nun die Kombination der beiden Maßnahmen. Aufgrund dieser Überlegung ist es sinnvoll, die gleichen Dämmmaßnahmen jeweils an der Kellerdecke und an der Außenwand durchzuführen. Um den Wärmeverlust der Kellerdecke zu reduzieren, wird, wie in der Maßnahme 2 dargelegt, die Kellerdecke mit einer Dämmschicht verstärkt. Jedoch wird zusätzlich eine Zementestrichschicht hinzugefügt und die Dicke der Dämmschicht wird an die der Außenwand angeglichen. Die Dämmschicht besteht aus 12 cm Polystyrolschaum (DG 040) und wird von unten an der Kellerdecke befestigt und mit einer 2 cm Zementestrichschicht (  $\rho=2000$ ) verkleidet. Die Außenwand wird, wie in der Maßnahme 1, ebenfalls mit den gleichen Materialien gedämmt.



**Skizze 6: Außenwand M3**



**Skizze 7: Kellerdecke M2**

AW: 1. Zementputz 2. Polystyrol 3. Kalksandstein-Vollziegel 4. Gipsputz

KD: 1. Zementestrich 2. Stahlbetonbalkendecke 3. Polystyrol 4. Zementestrich

Aufgrund der vorgenommenen Maßnahmen verändern sich die U-Wert der Kellerdecke von ursprünglichen  $1,62 \text{ W/m}^2\text{K}$  auf  $0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$  und die der Außenwand von ursprünglich  $1,40 \text{ W/m}^2\text{K}$  auf  $0,27 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Somit liegen beide U-Werte im EnEV-Bereich.



### 3.3.2 Energiebilanz

Da der U-Wert den Grad angibt, in welchem Umfang Wärme durch die Bauteile verloren gehen, sinkt mit dem U-Wert auch der Transmissionsverlust durch die Außenwand und durch die Kellerdecke. Durch die Modernisierungsmaßnahme sinkt der Transmissionsverlust der Außenwand und der Kellerdecke von ursprünglich insgesamt 56.021 kWh/a auf 10.247 kWh/a. Aufgrund der sinkenden Wärmeverluste durch die Außenwand und die der Kellerdecke sinkt auch der Gesamtwärmeverlust. Demnach ist es notwendig, eine neue Energiebilanz aufzustellen, denn resultierend aus dieser Energiebilanz liegt der Endenergiebedarf nun bei 98.642 kWh/a. Das bedeutet eine Endenergieeinsparung von 45.637 kWh/a.

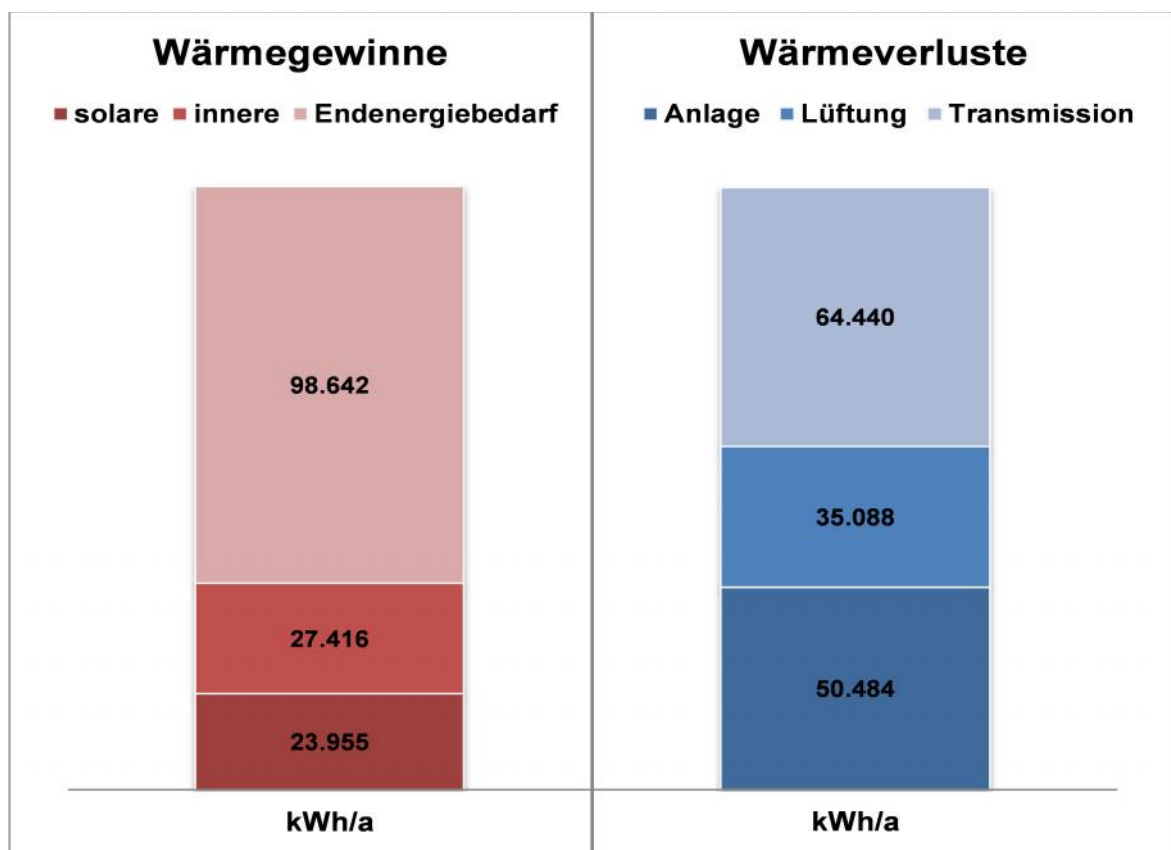
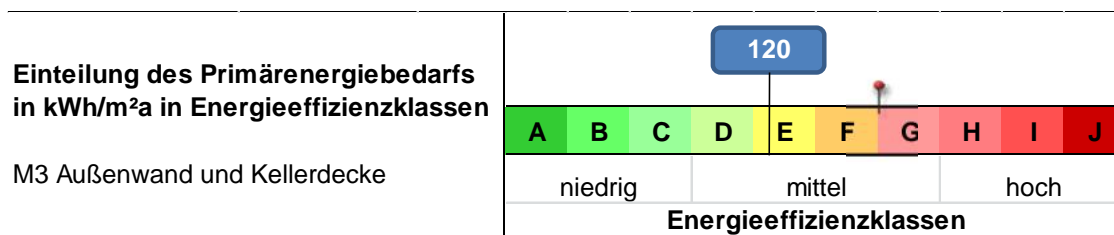


Abbildung 10: Energiebilanz M3 Außenwand und Kellerdecke<sup>20</sup>

<sup>20</sup> Endenergiebedarf = Energieverluste (gesamt) – Energiegewinne (gesamt)

### 3.3.3 Energetische Bewertung

Die zusätzliche Wärmedämmungsmaßnahme der Kellerdecke und der Außenwand wirkt sich auch auf den Primärenergiebedarf aus. Aufgrund des reduzierten Wärmeverlusts wird weniger Energie aufgebracht, um das Gebäude zu heizen. Der neue niedrigere Wert für den Jahreswärmebedarf für die Heizung liegt nun bei 55.863 kWh/a. Anhand dieses Wertes lässt sich der neue Jahresprimärenergiebedarf berechnen, welcher nach der Modernisierung 114.176 kWh/a beträgt. Dies entspricht einem Wert von 120 kWh/m<sup>2</sup>a. Anhand der Einstufung in Energieeffizienzklassen liegt das Objekt nun in dem Anfangsbereich der Klasse E.



**Abbildung 11: Energieeffizienzklasse M3 Außenwand und Kellerdecke<sup>21</sup>**

Aufgrund des gesunkenen Jahreswärmebedarfs für die Heizung ergibt sich auch ein neuer Wert für die Emissionen. Der CO<sub>2</sub>-Wert beträgt nun nur noch 41 Kg/m<sup>2</sup>.

### 3.3.4 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung wird ebenfalls mit der Kapitalwertmethode berechnet. Der Berechnung wurden die gleichen konstanten Ausgangsparameter zugrunde gelegt.

Anhand der Tabelle zur Wirtschaftlichkeit der Maßnahme 3 (Außenwand und Kellerdecke) lässt sich erkennen, dass auch hier ein positiver Kapitalwert der Einnahmenüberschüsse erwirtschaftet wurde. Dieser beläuft sich auf 128.829 € in dem Zeitraum n=30 Jahre. Für die Amortisationszeit ist mit einem Wert von ca. zwei Jahren zu rechnen.

<sup>21</sup> DIN 18599 Energetische Bewertung von Gebäuden

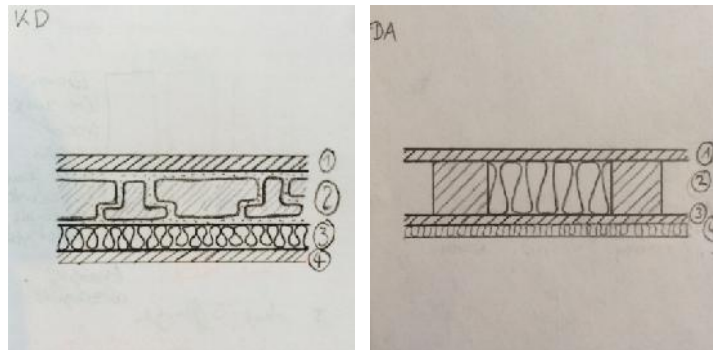
## 3.4 Modernisierung der Kellerdecke und des Daches

### 3.4.1 Maßnahmenbeschreibung

Gegenstand der Modernisierungsmaßnahme sind die Kellerdecke und das Dach.

Die Kellerdecke und das Dach haben einen Anteil an den Transmissionsverlusten von 39%, die sich auf 42.649 kWh pro Jahr belaufen.

Aufgrund der Tatsache, dass die Raumluft einem vertikalen Bewegungsverlauf folgt, ist es wichtig, eine Strategie durchzuführen, die die Dämmung der Kellerdecke und des Daches mit einbezieht. Aufgrund dieser Überlegung ist es sinnvoll, die gleichen Dämmmaßnahmen für die Kellerdecke wie in den vorherigen Maßnahmen zu verwenden. Da das Dach schon eine Dämmung besitzt, muss diese gegen eine neue modernere und bessere Dämmung ausgetauscht werden. Die bisherige Dämmung wird entsorgt und eine neue Dämmung eingebaut. Die neue Gefachdämmung besteht aus Polystyrol-Extruderschaum XPS (DG 030). Zusätzlich wird eine XPS-Schicht von zwei cm untersparrig angebracht, um eine deutlich stärkere Wärmedämmung zu realisieren,



**Skizze 8: Kellerdecke M4**

**Skizze 9: Dach M4**

KD: 1. Zementestrich 2. Stahlbetonbalkendecke 3. Polystyrol 4. Zementestrich

DA: 1. Holzschale 2. Gefachdämmung aus Polystyrol 3. Holzschalung 4. Polystyrol

Aufgrund der vorgenommenen Maßnahmen verändert sich der U-Wert der Kellerdecke von ursprünglichen  $1,62 \text{ W/m}^2\text{K}$  auf  $0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$  und der des Daches von ursprünglich  $0,52 \text{ W/m}^2\text{K}$  auf  $0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Lediglich der neue U-Wert des Daches liegt nicht im EnEV-Bereich.

### 3.4.2 Energiebilanz

Da der U-Wert den Grad angibt, in welchem Umfang Wärme durch die Bauteile verloren geht, sinkt mit dem U-Wert auch der Transmissionsverlust durch die Kellerdecke und durch das Dach. Durch die Modernisierungsmaßnahme sinkt der Transmissionsverlust des Dachs und der Kellerdecke von ursprünglich zusammen 42.649 kWh/a auf 18.434 kWh/a. Aufgrund der sinkenden Wärmeverluste sinkt demzufolge auch der Gesamtwärmeverlust. Demnach ist es notwendig, eine neue Energiebilanz aufzustellen. Resultierend aus dieser Energiebilanz liegt der Endenergiebedarf nun bei 120.114 kWh/a. Das bedeutet eine Endenergieeinsparung von 24.165 kWh/a.

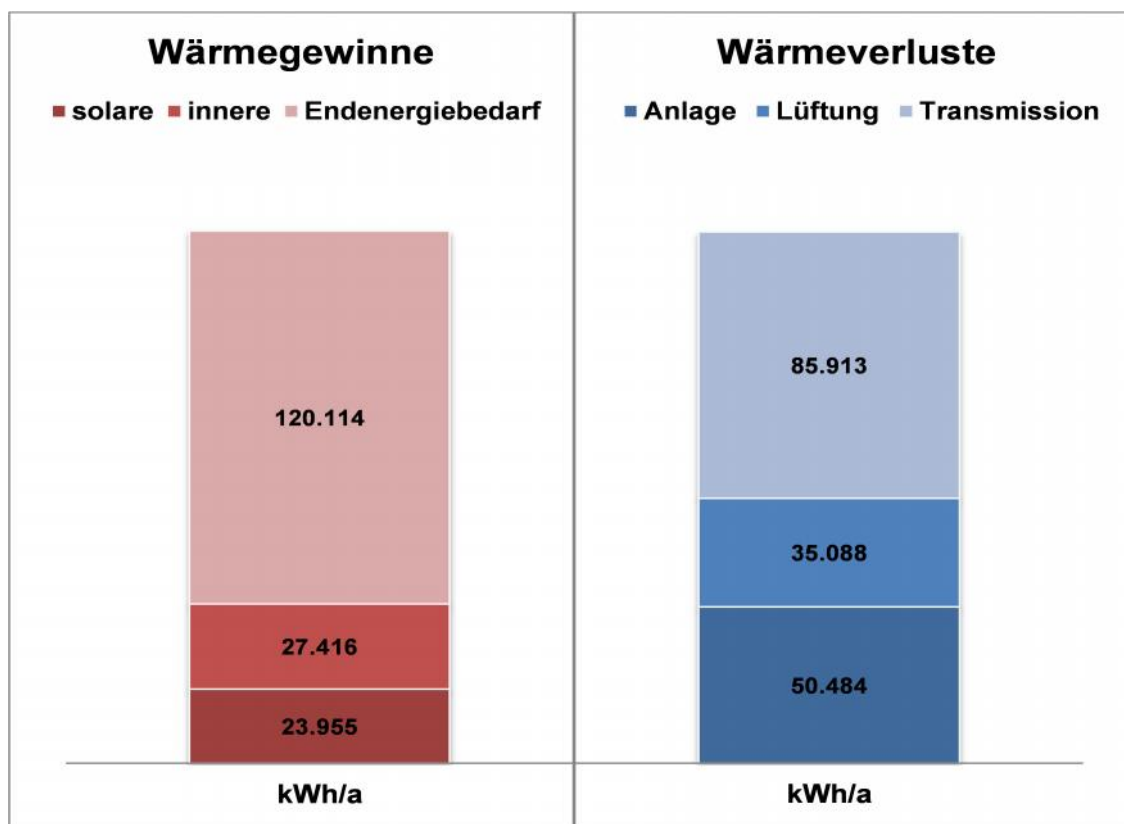


Abbildung 12: Energiebilanz M4 Kellerdecke und Dach<sup>22</sup>

<sup>22</sup> Endenergiebedarf = Energieverluste (gesamt) – Energiegewinne (gesamt)

### 3.4.3 Energetische Bewertung

Die zusätzlichen Wärmedämmungsmaßnahmen der Kellerdecke und des Daches wirken sich auch auf den Primärenergiebedarf aus. Aufgrund des reduzierten Wärmeverlusts wird weniger Energie aufgebracht, um das Gebäude zu heizen. Der neue niedrigere Wert für den Jahreswärmebedarf für die Heizung liegt bei 77.336 kWh/a. Anhand dieses Wertes lässt sich auch der Jahresprimärenergiebedarf berechnen, welcher nach der Modernisierung 150.679 kWh/a beträgt. Dies entspricht einem Wert von 158 kWh/m<sup>2</sup>a. Anhand der Einstufung in Energieeffizienzklassen liegt das Objekt nun in Klasse F.

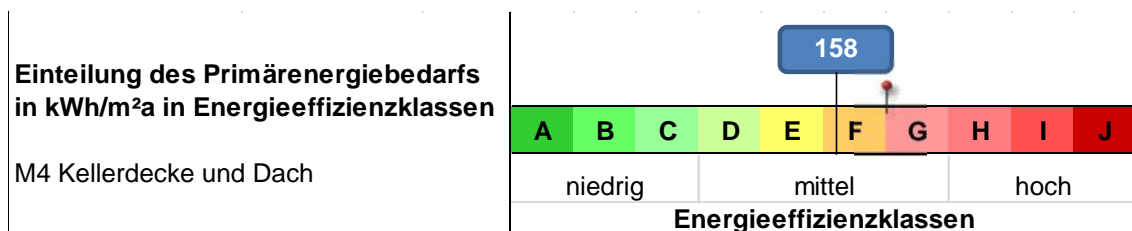


Abbildung 13: Energieeffizienzklasse M4 Kellerdecke und Dach<sup>23</sup>

Aufgrund des gesunkenen Jahreswärmebedarfs für die Heizung ergibt sich ein neuer Wert für die Emissionen. Der CO<sub>2</sub>-Wert beträgt nun 49 Kg/m<sup>2</sup>.

### 3.4.4 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung wird mit der Kapitalwertmethode berechnet. Der Berechnung wurden die gleichen konstanten Ausgangsparameter wie vorher zugrunde gelegt.

Anhand der Tabelle zur Wirtschaftlichkeit der Maßnahme 4 (Kellerdecke und Dach) lässt sich erkennen, dass auch hier ein positiver Kapitalwert der Einnahmenüberschüsse erwirtschaftet wurde. Dieser beläuft sich auf 39.542 € in dem Zeitraum n=30 Jahre. Für die Amortisationszeit ist mit einem Wert von ca. 10 Jahren zu rechnen.

<sup>23</sup> DIN 18599 Energetische Bewertung von Gebäuden

## 4 Maßnahmenvergleich

Zur Veranschaulichung und Entscheidungsfindung, welche der vier Maßnahmen die beste ist dient der Maßnahmenvergleich.

Im Folgenden findet eine Gegenüberstellung aller bedeutsamen Werte der Maßnahmen statt, welche mit dem Ist-Zustand des Gebäudes verglichen werden. Erst dann kann eine sinnvoll begründete Entscheidung gefällt werden.

Die Gliederung des Maßnahmenvergleiches erfolgt analog zu der Einteilung der Maßnahmen, um so eine übersichtliche Aufstellung der Daten zu gewährleisten.

Eine umfassende Übersicht über die Maßnahmen befindet sich in der Anlage Teil 03.

### 4.1 Zusammenfassung der Daten

#### 4.1.1 Vergleich der Energiebilanz

Die Energiebilanz bietet den Überblick über die reduzierten Wärmeverluste und folglich über das Energieeinsparungspotenzial der einzelnen Maßnahmen. Die Maßnahme mit dem größtmöglichen Einsparungspotenzial ist die, die die höchste Differenz zum Ist-Zustand vorweisen kann. Vergleichsgegenstand ist der Wärmeverlust.

Wärmeverlust Ist-Zustand gesamt = 195.649 kWh/a

Der Wärmeverlust setzt sich aus Anlagenverlusten, Lüftungsverlusten und Transmissionsverlusten zusammen. Da es im Zuge der Modernisierungsmaßnahmen nur Veränderungen an der Gebäudehülle gibt, wird nur der Transmissionsverlust reduziert. Die Anlagenverluste und die Lüftungsverluste bleiben unverändert. Demzufolge gibt der Transmissionswärmeverlust am besten Aufschluss über die eingesparte Energie.

**Transmissionswärmeverlust Ist-Zustand = 110.077 kWh/a**

Werden die Transmissionsverluste der unterschiedlichen Maßnahmen verglichen, ergibt sich, dass die Maßnahme 3 (Außenwand und Kellerdecke), mit einem Transmissionswärmeverlust von 64.440 kWh/a und somit einer Reduzierung der gesamten Wärmever-

luste von 45.637 kWh/a, das meiste Einsparungspotenzial vorweist. Der modernisierte Endenergiebedarf beträgt nur noch 98.642 kWh/a.

Die Maßnahme 1 (Außenwand) weist das zweitgrößte Einsparungspotenzial auf. Die Transmissionswärmeverluste belaufen sich, durch die zusätzlichen Dämmmaßnahmen an den Außenwänden, auf 83.326 kWh/a. Die gesamten Verluste belaufen sich auf 168.898 kWh/a. Folglich ergibt sich ein neuer Endenergiebedarf von 146.282 kWh/a.

Durch die Dämmmaßnahmen der Kellerdecke und dem Dach ist eine gesamte Wärmeverlustreduzierung auf 171.485 kWh/a möglich, womit die Maßnahme 4 (Kellerdecke und Dach) das drittbeste Potenzial zur Energieeinsparung vorweist.

Die Maßnahme 2 weist die ungünstigsten Werte auf. Durch die simple Kellerdeckendämmung lässt sich eine Reduzierung der Transmissionsverluste auf 92.069 kWh/a erreichen. Dies ergibt lediglich eine Minderung um ca. 18.000 kWh/a.

#### **4.1.2 Vergleich der energetischen Bewertung**

Gegenstand der energetischen Bewertung einer Immobilie ist der Primärenergiebedarf pro Jahr. Aufgrund dessen wird eine Einteilung in Effizienzklassen vorgenommen anhand derer sich eine Immobilie energetisch ausweisen kann. Deshalb ist der Primärenergiebedarf, insbesondere bezogen auf die Bezugsfläche A, eine wichtige und aussagekräftige Größe. Da sich der Primärenergiebedarf aus der Summe des Jahreswärmebedarf Heizung und des Jahreswärmebedarf Warmwasser und dies multipliziert mit der Anlagenaufwandszahl ergibt, ist es logisch, dass analog zum sinkenden Wärmeverlust auch der Primärenergiebedarf sinkt. Durch die bessere Dämmung der Bauteile reicht nun ein geringerer Energieaufwand, welcher für die Heizungswärme aufgebracht werden muss.

**Primärenergiebedarf Ist-Zustand = 201 kWh/m²a**

**Energieeffizienzklasse G**

Folglich ergibt sich hier die gleiche Maßnahmenreihenfolge, welche schon bei dem Vergleich der Energiebilanzen zustande gekommen ist. Die Modernisierungsmaßnahme mit dem geringsten Primärenergiebedarf ist die Maßnahme 3 (Außenwand und Kellerdecke). Der Primärenergiebedarf beläuft sich auf 120 kWh/m²a. Daraus ergibt sich die Energieeffizienzklasse E. Die Maßnahme mit dem zweitniedrigsten Primärenergiebedarf ist die Maßnahme 1 (Außenwand) mit 153 kWh/m²a und einer Energieeffizienzklasse F. Dem

folgt Maßnahme 4 (Kellerdecke und Dach) mit einem Primärenergiebedarf in Höhe von 158 kWh/m<sup>2</sup>a, sie ist somit ebenfalls in die Klasse F einzusortieren. In der Klasse F findet sich auch noch die Maßnahme 2 (Kellerdecke) wieder mit einem Primärenergiebedarf von 168 kWh/m<sup>2</sup>a.

Als Ergebnis dieses Maßnahmenvergleiches, welcher zusätzlich zu dem Vergleich der Energiebilanz Aufschluss über die Energieeinsparung bringt, stellt sich heraus, dass auch hier Maßnahme 3 (Außenwand und Kellerdecke) die beste ist. Die bestmögliche Maßnahme kann jedoch wirtschaftlich untragbar sein. Aus diesem Grunde ist es unabdingbar, auch Daten zur Wirtschaftlichkeit zu ermitteln.

#### 4.1.3 Vergleich der Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit gibt an, ob sich eine Investition lohnt. Es kann durchaus möglich sein, dass eine Modernisierungsmaßnahme mit den besten Werten sich aufgrund eines zu hohen Aufwands gar nicht lohnt. Es ist somit nicht wirtschaftlich, eine solche Maßnahme durchzuführen. Darüber hinaus muss darauf geachtet werden, dass sich die Investition innerhalb eines bestimmten Zeitraumes amortisiert. Ist dies nämlich nicht der Fall, würde sich die Investition nicht lohnen.

**Brennstoffkosten Ist-Zustand = 12.668 €/a**

Die Brennstoffkosten werden nach der Modernisierung miteinander verglichen.

Aufgrund der Modernisierungsmaße 3 ergeben sich bei einem Ölpreis von 0,70 €/l Brennstoffkosten von 3.910 €/a. Die Maßnahme 1 (Außenwand) , mit 5.232 €/a, folgt an zweiter Stelle. Die Brennstoffkosten der Maßnahme 4 (Kellerdecke und Dach) belaufen sich auf 5.414 €/a und die der Maßnahme 2 (Kellerdecke) ergeben 5.844€/a. Dieser Vergleich zeigt, dass sich diese Reihenfolge analog zu der bisherigen verhält. Durch den verringerten Energiebedarf minimieren sich auch die Kosten.

Für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit wurde die Kapitalwertmethode verwendet. Diese Methode bietet die Möglichkeit, nicht nur die Wirtschaftlichkeit festzustellen, sondern sie bietet auch gleichzeitig einen Überblick über die Einnahmenüberschüsse, welche durch die Einsparungen erreicht werden. Somit sind die maßgebenden Werte bei dem Vergleich der Wirtschaftlichkeit zum einen die Investitionssumme und zum anderen die eingesparten Kosten pro Jahr. Die beste Maßnahme ist demnach diejenige, welche eine hohe Kosteneinsparung hat und gleichzeitig eine geringe Investitionssumme aufweist.



Aufgrund der berechneten Werte ergibt sich eine andere Maßnahmenreihenfolge als in den vorherigen Vergleichen. Die Maßnahme 1 (Außenwand) ist die beste, mit einer Einsparung der Brennstoffkosten von 7.436 €/a und einer Investitionssumme von 4.397 €. Danach folgt die Maßnahme 3 (Außenwand und Kellerdecke) mit einer Kosteneinsparung von 8.758 €/a und einer Investitionssumme von 9.006 €. Die Maßnahme 2 (Kellerdecke) ist anhand der Wirtschaftlichkeit die drittbeste Maßnahme, mit einer Kosteneinsparung von 6.824 €/a und Investitionskosten in Höhe von 4.418 €. Die Maßnahme 4 (Kellerdecke und Dach) mit einer Brennstoffkosteneinsparung von 7.254 €/a und einer Investitionssumme von 12.808 € steht an letzter Stelle.

#### 4.1.4 Entscheidungsfindung

Da nur eine der vier Maßnahmen durchgeführt werden kann, wird eine Entscheidung getroffen, die alle vorherigen Daten berücksichtigt. Hierbei wird vor allem auf das Verhältnis zwischen der Energieeinsparung und den eingesetzten Kosten geachtet. Bei der Entscheidungsfindung gilt der Grundsatz, dass jene Maßnahme am besten ist, bei der die eingesetzten Kosten möglichst gering sind und die Energieeinsparung möglichst hoch ist. Um dies herauszufinden, welche demnach die beste Maßnahme ist, wird das Verhältnis der gesamten Einnahmen zu den gesamten Kosten innerhalb des Betrachtungszeitraumes von  $n=30$  Jahren ausgerechnet. Dieses Verhältnis beinhaltet alle wichtigen Daten. Die Einnahmen entsprechen den gesamten Energieeinsparungen in Euro und die Kosten beinhalten alle anfallenden Kosten innerhalb des Betrachtungszeitraums.

<b>Wirtschaftlichkeit</b>			
	Einnahmen in €	Ausgaben in €	<u>Einnahmen</u> Ausgaben
Maßnahme 1	211.439	153.187	1,4
Maßnahme 2	194.036	170.611	1,1
Maßnahme 3	249.032	120.203	2,1
Maßnahme 4	206.290	166.747	1,2

**Tabelle 3: Wirtschaftlichkeit Maßnahme 1 - Maßnahme 4**

Die Entscheidung fällt auf diejenige Maßnahme, bei der der Wert des Verhältnisses zwischen Einnahmen und Ausgaben am größten ist. Im konkreten Fall ist die Maßnahme 3 (Außenwand und Kellerdecke) die effizienteste Modernisierungsmaßnahme.

---

Mit einer Amortisationszeit von ca. zwei Jahren und einem Kapitalwert der Einnahmenüberschüsse von 128.829 € im gesamten Betrachtungszeitraum, der gleichzeitig auch die Kosteneinsparung zum Ist-Zustand darstellt, ist die Maßnahme 3 die beste. Jährlich werden folglich 4.294 € gespart, was einer Kosteneinsparung von ca. 36 % entspricht. Die eingesparte Energie von 81 kWh/m<sup>2</sup>a (Primärenergiebedarf) beläuft sich sogar auf 40 %.

**Aufgrund der Modernisierungsmaßnahme 3, welche Dämmschichten an der Kellerdecke und an den Außenwänden vorsieht, erhält der Altbau einen neuen Energieausweis mit der Energieeffizienzklasse E und einem Primärenergiebedarf von 120 kWh/m<sup>2</sup>a.**

## 5 Gebäudetechnische Modernisierung

Durch die Modernisierungsmaßnahmen konnte der Energiebedarf fast um die Hälfte gesenkt werden, doch mit 120 kWh/m<sup>2</sup>a ist der Wert immer noch doppelt so hoch wie der EnEV-Altbaustandard von 60 kWh/m<sup>2</sup>a. Im Folgenden werden weitere Möglichkeiten dargestellt, um den Energiebedarf weiter zu senken, damit ein Energiestandard erreicht wird, der der heutigen Zeit entspricht. Im besten Fall soll sogar der Energiestandard eines Passiv-Hauses, wenn nicht sogar eines Energie-Plus-Hauses erreicht werden. Somit wäre es möglich nicht nur Energie einzusparen, sondern auch Energie zu gewinnen.

### 5.1 Modernisierungsmaßnahmen in der Versorgungstechnik

#### 5.1.1 Heiztechnik und Rohrleitungssysteme

Wie in der Einleitung schon erwähnt, finden diese Modernisierungen im Zuge einer Komplettsanierung statt. Demzufolge ist nicht nur die Gebäudehülle von Umbaumaßnahmen betroffen, sondern auch die Versorgungstechnik. Denn der Ist-Zustand der gebäudetechnischen Anlagen ist wie die Bausubstanz nicht mehr zeitgemäß. Außerdem beinhaltet die Gebäudetechnik ein zusätzliches Energieeinsparungspotenzial, welches dazu beiträgt, den Energiebedarf weiter zu senken.

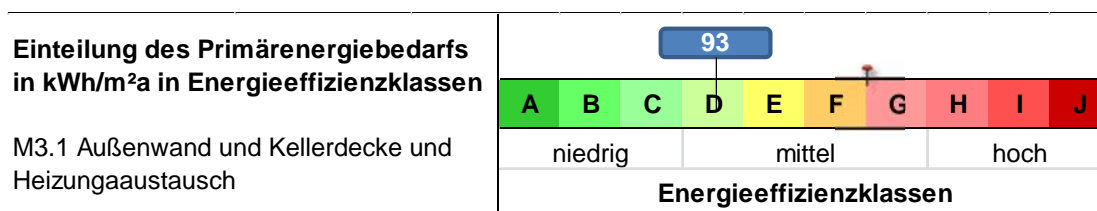
Nach dem heutigen Stand der Technik gibt es viele verschiedene und effiziente Möglichkeiten, Heizungswärme zu erzeugen. Eine grundlegende Einteilung erfolgt aufgrund der Art des fossilen Energieträgers. Im konkreten Fall ist der fossile Primärenergieträger das Erdöl. Es gibt noch weitere fossile Energieträger, nämlich Stein- oder Braunkohle, Erdgas, Holz oder Torf zum Heizen. Zu beachten sind auch die Unterschiede bei den Heizkesseln. Zum einen gibt es den Standardkessel, der im konkreten Fall verbaut ist, der sich jedoch negativ durch hohe Vorlauftemperaturen und hohe Abgastemperaturen auszeichnet. Der Standardkessel wird in Deutschland nicht mehr verbaut, da die Wärmeverluste durch diesen Kessel zu hoch sind. Des Weiteren gibt es den Niedertemperaturkessel. Er zeichnet sich dadurch aus, dass die Kesseltemperatur auf ein Minimum reduziert wird und es zusätzlich eine Temperaturbegrenzung bis maximal 75°C gibt. Die dritte Kesselart ist der Brennwertkessel. Seine Eigenschaften sind vor allem die Rückgewinnung von Energie

und geringe Wärmeverluste. Bei der Verbrennung der fossilen Energieträger muss viel Energie aufgebracht werden, die in Form von Wasserdampf normalerweise als Abgas der Außenluft zugeführt wird. Somit geht die in dem Wasserdampf enthaltene Energie verloren. Doch innerhalb des Brennwertkessels findet zusätzlich ein weiterer Prozess statt, der darauf abzielt, die verborgene Wärmeenergie aus dem Wasserdampf, auch latente Wärmeenergie genannt, zu nutzen. Dies geschieht durch einen zweiten Wärmetauscher, der dafür sorgt, dass der Wasserdampf durch Abkühlung kondensiert und somit seinen Aggregatzustand wechselt. Bei dieser Kondensation wird die gleiche Menge an Energie freigesetzt und somit nutzbar gemacht, wie für die Verdampfung nötig war. Die abgekühlten und energiearmen Abgase werden der Außenluft zu geführt. Aufgrund der genannten Merkmale ist der Wärmeverlust bei Brennwertkesseln gering.

Im folgenden Fall ist es sinnvoll, für die Erzeugung der Heizungswärme den alten Standardkessel durch einen neuen effizienten Brennwertkessel zu ersetzen. Bei der Wahl des Energieträgers bleibt es beim Heizöl (EL). Es gibt andere Energieträger, bei denen der Brennwert höher ist und somit weniger verbraucht werden muss, um die gleiche Menge an Energie zu erreichen. Jedoch ist dafür ein größerer Umbauaufwand nötig, welcher sich in hohen Kosten niederschlägt und sich aufgrund der Wirtschaftlichkeit verbietet. Zusätzlich zur Modernisierung des Heizkessels ist es sinnvoll, sich der Intaktheit der Rohrleitungen und insbesondere der Intaktheit der Rohrleitungsdämmung aus Gipsbindenummantelungen zu vergewissern. Ist dies nicht der Fall, müssen die Rohrleitungen oder deren Dämmung erneuert werden, um den Energieverlusten, welche auf dem Verteilungsweg in die Wohnräume entstehen, entgegenzuwirken. Als letzte Maßnahme werden die alten Rippenheizkörper, welche zur Übergabe der Wärmeenergie dienen, mit Thermostatventilen oder elektrischer Regeltechnik ausgestattet.

Aufgrund dieser Modernisierungsmaßnahmen ist damit zu rechnen, dass die Anlagenverluste sich deutlich reduzieren. Schätzungsweise können sich die Anlagenverluste um mindestens 50 % verringern. Dies entspricht einer Reduzierung um 25.242 kWh/a.

Durch die Reduzierung der Anlagenverluste ergibt sich ein neuer Endenergiebedarf von 73.400 kWh/a. Dadurch reduziert sich der Primärenergiebedarf und erreicht einen Wert von 93 kWh/m<sup>2</sup>a. Dies entspricht einer Minimierung des Primärenergiebedarfs im Ist-Zustand um ca. 54 %. Somit befindet sich das Gebäude nun in der Energieeffizienzklasse D.



**Abbildung 14: Energieeffizienzklasse M3.1<sup>2425</sup>**

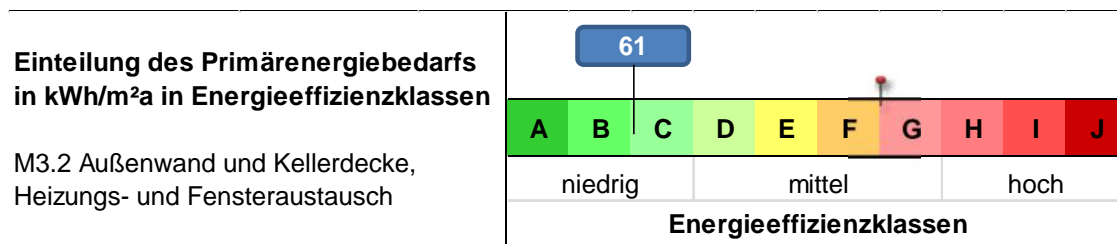
Auch hier muss die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme beachtet werden. Durch die Installation einer solchen Heizungsanlage und die weiteren Umbaumaßnahmen entstehen hohe Investitionskosten. Es wird eine Investitionssumme von ca. 20.000 € angenommen. Doch da bei der Maßnahme 3 (Außenwand und Kellerdecke) ein hoher Puffer in Form der Einnahmenüberschüsse erreicht wird, ist die Finanzierung durch die Energieeinsparung möglich.

### 5.1.2 Fensteraustausch

Eine weitere Maßnahme, welche die Gebäudehülle betrifft, ist der Austausch der Fenster. Werden die alten Holzfenster durch Fenster, die eine Wärmeschutzverglasung haben, ausgetauscht, wird der Wärmedurchgangskoeffizient der Fenster reduziert. Durch den Austausch der Fenster ist ein U-Wert der Fenster von 1,2 W/m²K möglich, wodurch der U-Wert innerhalb des EnEV-Bereiches liegt. Durch diese Reduzierung des U-Wertes ergibt sich ein neuer Heizwärmebedarf von 37.739 kWh/a. Bei der Umrechnung des Bedarfswertes in Brennstoffkosten ergeben sich jährliche Kosten von 2.642 €/a, was im Vergleich zum Ist-Zustand einer Kosteneinsparung von ca. 10.000 € pro Jahr entspricht. Der neue Endenergiebedarf nach dem Fensteraustausch beläuft sich auf 55.275 kWh/a, und der neue Primärenergiebedarf liegt bei 61 kWh/m²a. Dadurch würde das Gebäude im Energieausweis die Energieeffizienzklasse C erreichen und im niedrigen Bereich liegen.

<sup>24</sup> DIN 18599 Energetische Bewertung von Gebäuden

<sup>25</sup> M3.1 ergibt sich aus der bauphysikalischen Maßnahme 3 und zusätzlich aus der gebäudetechnischen Maßnahme 1



**Abbildung 15: Energieeffizienzklasse M3.2<sup>2627</sup>**

Der hohe Fensteranteil birgt ein deutliches Einsparungspotenzial, doch die Investitionskosten einer solchen Umbaumaßnahme sind sehr hoch. Für ein Holzfenster mit Wärmeschutzverglasung von 1,3 m x 1,3 m ist ein Preis in Höhe von 560 € anzusetzen. Dies entspricht im konkreten Fall bei einer gesamten Fensterfläche von 191 m² eine Wert von ca. 63.280 € Materialkosten. Nach Berechnung der Montagekosten ist mit einer zusätzlichen Summe von ca. 70.000 € zu rechnen.

### 5.1.3 Alternative Energien

Um den Energiebedarf weiterhin zu senken, gibt es noch die Möglichkeit der Nutzung von alternativen Energien. Eine wichtige alternative Energiequelle ist neben den Elementen Erde, Wasser und Luft das Sonnenlicht. Die in der Erde enthaltene Wärmeenergie wird durch Geothermie mit Hilfe von Erdwärmesonden oder Erdreichkollektoren und Wärmepumpen nutzbar gemacht. Wasser wird durch die Sonden oder Kollektoren geleitet und nimmt die Wärmeenergie des Erdreiches auf. In Tiefen ab sieben Metern bleibt die Temperatur konstant zwischen 6 und 10°C. Diese Temperaturen sind zu gering, um ein Gebäude zu heizen. Aus diesem Grund wird eine Wärmepumpe eingesetzt, welche mit Hilfe des Carnot-Prozesses das Wasser mit geringer Temperatur auf ein höheres Energieniveau bringt.

<sup>26</sup> DIN 18599 Energetische Bewertung von Gebäuden

<sup>27</sup> M3.2 ergibt sich aus der bauphysikalischen Maßnahme 3 (Kellerdecke und Außenwand) und zusätzlich aus der gebäudetechnischen Maßnahme 1 (Heiztechnik) und zusätzlich aus der gebäudetechnischen Maßnahme 2 (Fensteraustausch)

Bei der Alternative, welches das Wasser als Energiequelle nutzt, wird das Grundwasser durch Förderbrunnen entnommen und durch die Wärmepumpe auf ein höheres Energieniveau gebracht, dem Heizkreislauf zugeführt und dann durch einen Schluckbrunnen wieder dem Grundwasser zugeführt.

Die dritte Möglichkeit ist die Gewinnung der Wärme aus der Luft. Durch Luftkanäle, welche die Außenluft ansaugen, kann die Luft erschlossen werden. Diese wird in einem Kessel durch eine Wärmepumpe und einen zusätzlichen elektrischen Heizstab auf eine höhere Temperatur erhitzt. Durch einen Wärmetauscher wird die Wärmeenergie der Luft an das Wasser, welches in dem Heizkreislauf fließt, abgegeben. Bei allen drei Methoden wird in der Regel auch ein Wärmepufferspeicher eingesetzt.

Die Solarthermie bedient sich der Sonnenwärme, um Energie zu generieren. Hier ist das Medium, welches die Energie verteilt, auch Wasser. Bei den Photovoltaikanlagen ist das Medium elektrische Energie. Solarzellen haben eine Eigenschaft, welche photoelektrischer Effekt genannt wird. Durch diesen Effekt ist es möglich, elektrischen Strom aus dem Sonnenlicht zu generieren. Solarzellen werden zu Solarmodulen verbunden und können im Fall von Wohnhäusern auf dem Dach montiert werden. Jedoch ist es nicht nur möglich, elektrische Energie aus dem Sonnenlicht zu erzeugen, sondern auch Wärmeenergie. Photovoltaikanlagen dienen zur Erzeugung von elektrischer Energie und thermische Solaranlagen dienen zur Erzeugung von Wärmeenergie.

Anhand dieser Möglichkeiten zusätzliche Energie zu erzeugen, ist im konkreten Fall eine Entscheidung zu treffen. Die Installation von Anlagen zur Nutzung der Geothermie ist sehr kostenaufwendig. Ebenso verhält es sich mit der Nutzung des Grundwassers. Nur die Nutzung der Luft zur Wärmegewinnung ist in den Investitionskosten relativ gering. Um die Wärmeenergie aller drei Methoden optimal zu nutzen, wird die Verteilung in der Regel als Flächenheizung in Form von Warmwasser-Fußbodenheizungen vorgenommen. Eine solche Umbaumaßnahme ist zu kostenintensiv und ergibt im konkreten Fall keinen Sinn. Außerdem ist durch den Austausch des alten Standardkessels durch einen Brennwertkessel die Erzeugung von Wärmeenergie modernisiert worden und entspricht dem Stand der Technik. Demnach fällt die Wahl auf eine Photovoltaikanlage zur Erzeugung von elektrischer Energie. Aufgrund der großen Dachflächen und deren Ausrichtung nach Südwesten bietet sich diese Methode an. Da bei der Erzeugung von Warmwasser bisher auf eine dezentrale elektrische Warmwasseraufbereitung gesetzt wird, kann die Stromversorgung durch die generierte elektrische Energie der Photovoltaikanlage geschehen. Des Weiteren kann die erzeugte elektrische Energie in das Stromnetz eingespeist wer-

den. Der Energiebedarf wird dadurch zwar nicht geringer, aber diese Maßnahme wirkt sich positiv auf die Kosten aus. Bei der Anbringung einer Photovoltaikanlage entsteht eine hohe Investitionssumme, welche sich jedoch durch Einsparung bei den Stromkosten amortisiert. Der gesamte Jahresverbrauch an Strom beläuft sich in dem Altbau auf 18.042 kWh/a. Die Stromkosten betragen 4.668 €/a bei einem Strompreis von 0,27 €. Ausgehend von diesen Daten soll berechnet werden, welche Fläche an Solarmodulen benötigt wird und wie hoch die entstehenden Investitionskosten sind. Zur Berechnung ist das Strahlungsangebot, welches in Norddeutschland ungefähr bei 820 kWh/kWp liegt, eine wichtige Größe. Kilo-Watt-Peak ist eine Einheit, welche in der Solartechnik verwendet wird. Aufgrund des Strahlungsangebots von 820 kWh/kWp ergibt sich bei einem IST-Verbrauch von ca. 18.000 kWh/a ein Bedarf von ca. 22 kWp. Da 1 kWp einer Fläche von 7 m<sup>2</sup> entspricht, wird eine Fläche von ca. 154 m<sup>2</sup> benötigt. Die Investitionskosten werden pro Kilo-Watt-Peak ausgerechnet. Es entstehen Investitionskosten in Höhe von ca. 31.000 € bei 1.400 €/kWp. Durch eine Photovoltaikanlage mit einer Fläche von ca. 154 m<sup>2</sup> kann der jährliche Stromverbrauch gedeckt werden. Diese Investition wird sich auf jeden Fall innerhalb von 30 Jahren amortisieren, da pro Jahr 4.668 € eingespart werden. Die exakte Amortisationszeit beträgt hier ca. sieben Jahre.

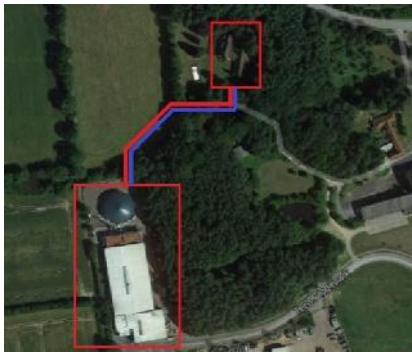
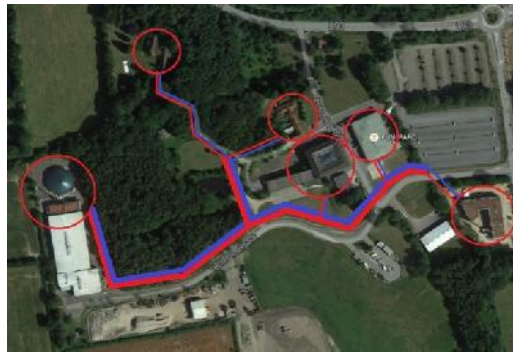
Falls jedoch angestrebt wird den Stromverbrauch nicht nur zu decken, sondern zusätzlich mehr Energie zu gewinnen, muss die Situation anders betrachtet werden. Anstatt den Verbrauch als Ausgangslage zu nehmen, wird nun die vorhandene Dachfläche zugrunde gelegt. Das Dach bietet mehr Fläche als zum Verbrauchsausgleich notwendig wäre. Demnach kann diese Fläche zusätzlich genutzt werden. Wird auf der gesamten und freien Dachfläche von 667,55 m<sup>2</sup> eine Fläche von 600 m<sup>2</sup> mit Photovoltaik bebaut, ist ein Energiegewinn von ca. 70.286 kWh/a möglich. Durch diesen Energiegewinn kann einerseits der jährliche Stromverbrauch ausgeglichen werden und andererseits ergäbe sich ein Überschuss von 52.244 kWh/a. Aufgrund dessen ist zu wählen zwischen einer Einspeisung in das öffentliche Stromnetz und der eigenen Nutzung durch Speicherung in Akkumulatoren. Die Einspeisung in das öffentliche Netz bietet ein gewisses Einkommen pro Jahr, welches vom Versorger gezahlt wird. Die eigene Nutzung bietet die Möglichkeit, die gewonnen elektrische Energie zu Heizzwecken zu nutzen. Bei dieser Option wäre im konkreten Fall ein Umbau vonnöten, welcher einen Austausch des Brennwertkessels durch eine elektrisch betriebene Heizungsanlage nach sich zieht. Durch diese Maßnahme wäre vielleicht sogar ein Energie-Plus-Haus-Standard möglich. Doch in der Berechnung wird nur die Maßnahme zum Energieausgleich berücksichtigt. Für die Zukunft ist in jedem Fall ein Energie-Plus-Haus anzustreben.



Aufgrund der abgeschiedenen Lage am Ortsrand Trittaus und der ohnehin eigenen Wasserversorgung ist der Gedanke eines autarken Gebäudes attraktiv. Anlässlich gegebener Umstände wird dieser Gedanke noch verstärkt. Denn es fanden zahlreiche Stromausfälle in ganz Deutschland statt, welche durch den Orkan „Niklas“ hervorgerufen wurden. Auch dieses Gebäude war davon nicht ausgenommen. Durch eine eigene Stromgewinnung mittels einer Photovoltaikanlage mit zugehörigen Elektrospeichern durch Akkumulatoren ist eine autarke Versorgung möglich. Zugleich kann somit die Unabhängigkeit vom öffentlichen Versorgungsnetz erreicht werden.

#### **5.1.4 Nahwärmeversorgungsnetz**

Eine weitere Möglichkeit der Wärmeengewinnung ist die Errichtung eines Nahwärmenetzes. Da sich unmittelbar angrenzend an das Grundstück eine Biogasanlage befindet, ist es möglich, ein solches Nahwärmenetz zu errichten, wodurch eine neue Energiegewinnung stattfindet. Diese Energiegewinnung bewirkt, dass der Brennstoffverbrauch verringert und gleichzeitig die Gesamteffizienz des Altbaus optimiert wird. Aufgrund eines bestehenden Vertrages, der beinhaltet, dass eine Abgabe von Abwärme der Biogasanlage an umstehende Gebäude nicht nur möglich, sondern auch erwünscht ist, wäre ein Anschluss des konkreten Objektes an die Biogasanlage möglich. Bei der Umsetzung müssen Leitungen verlegt werden, welche von der Biogasanlage zum Wohnhaus verlaufen und im Hausanschlussraum enden. Als Medium, welches die Energie von A nach B transportiert, wird Wasser eingesetzt. Im Hausanschlussraum wird die Energie des Wassers dann mit einem Wärmetauscher an den hiesigen Heizungskreislauf übergeben. Das kalte energiearme Wasser wird durch die zweite Leitung zur Biogasanlage zurückgeführt, wodurch ein Kreislauf entsteht. Jedoch ist eine solche Maßnahme mit hohen Kosten verbunden. Daher ist die Wirtschaftlichkeit wahrscheinlich nicht mit Sicherheit gegeben. Doch es bietet eine Möglichkeit, sich anderer Energiequellen zu bedienen.

**Abbildung 16: Nahversorgung****Abbildung 17: Nahversorgungsnetz**

Im konkreten Fall ist ein Nahwärmenetz, welches die Biogasanlage nur mit dem Wohngebäude verbindet, nicht sinnvoll. Falls eine Versorgung über Nahwärme stattfinden wird, wird das gesamte angrenzende Gewerbegebiet mit in das Verteilernetz angeschlossen. Demnach ist es eine Investition, welche sich nicht direkt auf das Wohnhaus bezieht. Somit ist diese Maßnahme für die Zukunft eine Möglichkeit, zusätzlich Energie zu gewinnen. Für die konkrete Berechnung ist sie jedoch nicht in Betracht zu ziehen.

Eine weitere theoretische Möglichkeit ist, die Abgaswärme der Biogasanlage in den Sommermonaten zu nutzen, um das sich im Garten befindliche Schwimmbad zu heizen. Im Sommer findet die Abwärme der Biogasanlage keinen Abnehmer, da diese Energie zum Heizen nicht benötigt wird. Somit wäre es sinnvoll die Abgaswärme im Sommer zu nutzen, um das Schwimmbad zu heizen. Diese Maßnahme bezieht sich jedoch ebenfalls nicht auf das Gebäude und wird somit vom Autor zwar als mögliche Zukunftsmaßnahme beschrieben, aber nicht weiter berücksichtigt.

## 6 Fazit

Durch das Zusammentragen aller Ergebnisse ist nun ein kompletter Überblick möglich. Es ist zu prüfen, ob die Zielstellung, durch geeignete Modernisierungsmaßnahmen eine bessere Gesamteffizienz mit heutigem Standard, erreicht werden kann

Die Entscheidung fällt auf Maßnahme 3 mit Austausch des Kessels plus Modernisierung der Rohrleitungen (M3.1) und plus zusätzlichem Fensteraustausch (M3.2) für Wärmeenergie. Als Maßnahme zur Gewinnung von elektrischer Energie fällt die Wahl auf eine Photovoltaikanlage.

Durch all diesen Maßnahmen sind folgende Werte erreichbar.

	IST	NEU	Einsparung	
Primärenergiebedarf	191.759 kWh/a	58.123 kWh/a	70 %	133.636 kWh/a
Endenergiebedarf	144.279 kWh/a	55.275 kWh/a	62 %	89.004 kWh/a
Heizwärmebedarf	101.501 kWh/a	37.739 kWh/a	63 %	63.762 kWh/a
Brennstoffkosten	12.668 €/a	2.642 €/a	79 %	10.026 €/a

**Tabelle 4: Energiebedarf M3.2**

Als Vergleichswerte können in Deutschland übliche und anerkannte Standards herangezogen werden. Das Kreditinstitut für Wiederaufbau, KfW-Bank, und die Energieeinsparverordnung 2009 geben diese Standards bekannt. Die KfW-Bank definiert diese Standards aufgrund von Förderstufen auf der Basis der grundlegenden Einteilung der EnEV. Die Einteilung erfolgt aufgrund des jährlichen Heizwärmebedarfs und des jährlichen Primärenergiebedarfs. Beide Größen werden auf die Energiebezugsfläche von 954 m<sup>2</sup> bezogen.

$$\text{Heizwärmebedarf} = 39,56 \text{ kWh/m}^2\text{a}$$

$$\text{Primärenergiebedarf} = 60,93 \text{ kWh/m}^2\text{a}$$

Aufgrund dieses Wertes ist für das Gebäude ein Energiestandard eines KfW-Effizienzhaus-70-Standard (nach EnEV 2009) anzunehmen. Diese Förderstufe sagt aus, dass der Heizwärmebedarf 45 kWh/m<sup>2</sup>a und der Primärenergiebedarf 70% des Istwertes

nicht überschreiten darf. Somit liegen der Heizwärmebedarf mit ca. 40 kWh/m<sup>2</sup>a und der Primärenergiebedarf mit ca. 61 kWh/m<sup>2</sup>a, was eine Einsparung von 70 % darstellt, innerhalb der Förderstufe. Somit wäre eine Förderung der KfW-Bank möglich, wodurch die Kosten der Investition durch einen Kredit gedeckt werden können. Bei Betrachtung des Primärenergiebedarf pro Jahr, ist sogar der Standard eines Passivhauses erreichbar, denn der Passivhaus-Standard liegt bei 120 kWh/m<sup>2</sup>a. Doch da der Heizwärmebedarf pro Jahr nicht vernachlässigt werden darf, scheitert es an diesem. Denn ein Passivhaus zeichnet sich auch durch einen Heizwärmebedarf von 15 kWh/m<sup>2</sup>a aus. Durch eine endgültige Wirtschaftlichkeitsberechnung ist mit einem Einnahmenüberschuss von ca. 213.000 € in den 30 Jahren zu rechnen. Das entspricht einer Summe von 7.100 € pro Jahr.

<b>KG 300 Bauwerk - Baukonstruktion</b>		<b>Einsparung Wärme</b>	
Wärmedämmung:		Brennstoffkosteneinsparung	300.788,00 €
Kellerdecke und Außenwände	9.006,00 €	Kalkulationszinssatz	5,50 %
Fenster austausch	70.000,00 €		285.107,11 €
<b>KG 400 Bauwerk - Technische Anlagen</b>		<b>Einsparung Strom</b>	
Heizungsaustausch	20.000,00 €	Stromkosteneinsparung	140.040,00 €
Photovoltaikanlage	30.803,00 €	Kalkulationszinssatz	5,50 %
<b>Investitionskosten</b>	129.809,00 €		132.739,34 €
zzgl. Brennstoffkosten n=30	75.127,90 €	<b>Gesamteinsparung n=30</b>	<b>417.846,45 €</b>
<b>Gesamtkosten n=30</b>	<b>204.936,90 €</b>		

**Tabelle 5: Wirtschaftlichkeitsberechnung M3.2<sup>28</sup>**

<b>Einnahmenüberschuss</b>	
<b>Gesamteinsparung</b>	<b>417.846,45 €</b>
<b>Gesamtkosten</b>	<b>- 204.936,90 €</b>
	<b>212.909,55 €</b>

**Tabelle 6: Einnahmenüberschuss M3.2**

<sup>28</sup> In der Tabelle enthaltene Kostengruppen (KG 300 und KG 400) nach DIN 276 Kosten im Bauwesen

Bei Betrachtung der Ergebnisse dieser Untersuchung, ist die Umsetzung dieser Modernisierungsmaßnahmen nicht nur positiv zu bewerten, sondern sogar wünschenswert und auf jeden Fall erforderlich. Diese wissenschaftliche Arbeit gibt Aufschluss über den erreichbaren Standard und einen Überblick über die anfallenden Kosten, wobei sich die Berechnung zum Teil auf Schätzwerte stützen. Dies führt dazu, dass die endgültigen Ergebnisse Circa-Werte sind. Durch Änderungen in den einzelnen Maßnahmen oder falsch eingeschätzte Werte können sich diese Ergebnisse ändern. Diese Änderungen würden sich hauptsächlich auf die Wirtschaftlichkeit und insbesondere auf die Investitionskosten beziehen, da bei der Berechnung für die Material- und Montagekosten möglichst geringe Kosten angesetzt worden sind. Es ist nicht ausgeschlossen, dass sich die Kosten mindestens verdoppeln. Somit würde sich bei einer höheren Kostenanforderung der Einnahmeüberschuss reduzieren und sich die Amortisationszeit nach hinten verschieben. Dennoch ist eine Umsetzung der Maßnahmen sinnvoll. Des Weiteren lassen sich durch geänderte Materialien oder durch neue Dämmmaßnahmen oder durch stärker isolierte Fenster bessere U-Wert erreichen. Doch in dieser Arbeit wurden die Materialien und Maßnahmen festgelegt. Eine weitere Überlegung ist, dass die dezentrale Warmwasseraufbereitung (Strom) zentralisiert wird. Durch Umbaumaßnahmen der Rohrleitungssysteme und den Austausch der Anlagentechnik durch geeignete Anlagen ist eine Zentralisierung möglich, so dass alle Heizvorgänge durch eine zentrale Heizung vorgenommen werden. Doch um einen direkten Vergleich zwischen dem Ist-Zustand und dem modernisierten Zustand zu schaffen, sind grundlegende Bestandteile nur modernisiert, aber nicht grundlegend verändert worden. Somit wurde es in dieser Untersuchung auch bei der dezentralen Warmwasseraufbereitung belassen.

Die Arbeit gibt einen guten Überblick in welchem Umfang sich zum einen der Energiebedarf und die daraus resultierenden Kosten verringern, und zum anderen, in welcher Höhe sich anfallende Kosten befinden. Außerdem ist das Ziel eines heutigen Energiestandards erreicht worden. Nach der Durchführung der erarbeiteten Maßnahmen gliedert sich das Gebäude nicht mehr nur durch die Bauweise in die Umgebung ein, sondern passt zur grünen Umgebung auch durch den Energieverbrauch. Dies wird durch die Energieeffizienzklasse C bewiesen.

---

## Literatur

Vorlesungen	Prof. Jörg Mehlig, Gebäudetechnische Anlagen, Wärmeversorgung, GTA 1, Fakultät Maschinenbau, Hochschule Mittweida, SS 2013
Vorlesungen	Prof. Gerhard Gebhardt, Bauphysik, Fakultät Maschinenbau, Hochschule Mittweida, WS 2011
DIN 276-1	Kosten im Bauwesen, Teil 1: Kosten im Hochbau, 2008
DIN 277-1	Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau, Teil 1: Begriffe, Ermittlungsgrundlagen, 2005
DIN 277-2	Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau, Teil 2: Gliederung der Nettogrundfläche, 2005
DIN 4108-6	Wärmeschutz im Hochbau, Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs
DIN 4701-10	Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen, Teil 10: Heizung, 2003
DIN V 18599-1	Energetische Bewertung von Gebäuden, Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, 2011
DIN V 18599-5	Energetische Bewertung von Gebäuden, Teil 5: Endenergiebedarf von Heizsystemen, 2011
DIN EN ISO 6946	Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizienten, 2008
DIN 1505	Titelangaben von Dokumenten; Zitierregeln, 1984
EnEV	Energieeinsparungsverordnung, 2009, idF. V. 2002
EnEG	Energieeinsparungsgesetz, 2013, idF. V. 1976, § 5, Beck-Texte im dtv.

---

Formelsammlung	Lucker, Bernd; Nollau, Volker; Veters, Klaus: Mathematische Formeln für Wirtschaftswissenschaftler (2011), 7. Auflage, Vieweg+Teuber, S.56
Energiewissen	Leuscher, Udo: Energiewissen, in: <a href="http://www.udo-leuscher.de">www.udo-leuscher.de</a> , aufgerufen am 09.06.2015
Zeitschrift	Dittrich, Monika; Giljum, Stefan; Lutter, Stephan; Polzin, Christine: Green economies around the world
Photovoltaik:	<a href="http://www.solaranlagen-portal.com">www.solaranlagen-portal.com</a> , aufgerufen am 30.06.2015
Fotos:	Eigene Bilder
Skizzen:	Eigene Skizzen
Grundrisse:	Architekt: atellier kookaa, Leipzig
Ansichten:	Architekt: atellier kookaa, Leipzig
Vorplanung:	Architekt: atellier kookaa, Leipzig

---

## Tabellarischer Lebenslauf

Name:	Hans Schifferdecker
Anschrift:	Großenseer Straße 17 22946 Trittau Schleswig-Holstein
geboren:	05.03.1992 in Schäßburg
schulischer Werdegang:	1998 - 2011 Grundschule Trittau Gymnasium Trittau  Abschluss: allgemeine Hochschulreife
Studium:	2011-2015 Hochschule Mittweida  Studiengang: Immobilienmanagement und Facilities Management
Praktika:	Schulzeit: Architekturbüro Joobs in Kuddewörde Commerzbank AG in Hamburg  Studium: EY Real Estate GmbH in Berlin



---

## Anlagen

Teil 1 .....	A-I
Teil 2 .....	A-VII
Teil 3 .....	A-XXXII



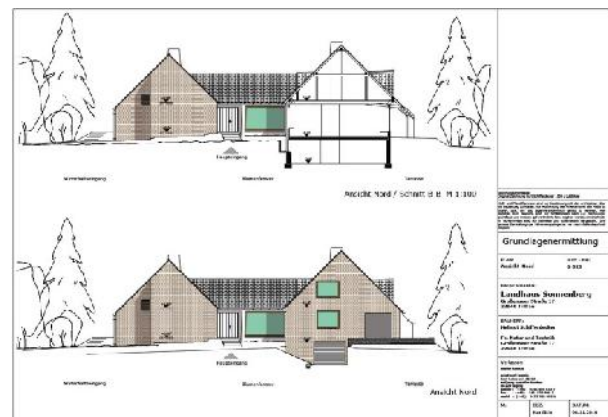
# Anlagen, Teil 1

### 1. Luftbild (Quelle: google maps)



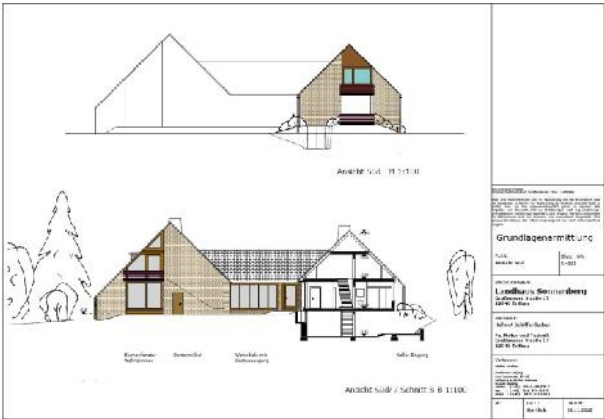
## 2. Ansichten<sup>29</sup>

Norden



<sup>29</sup> Quelle: Fotos Eigene Bilder, Ansichten atelier kookaa

Süden



Westen

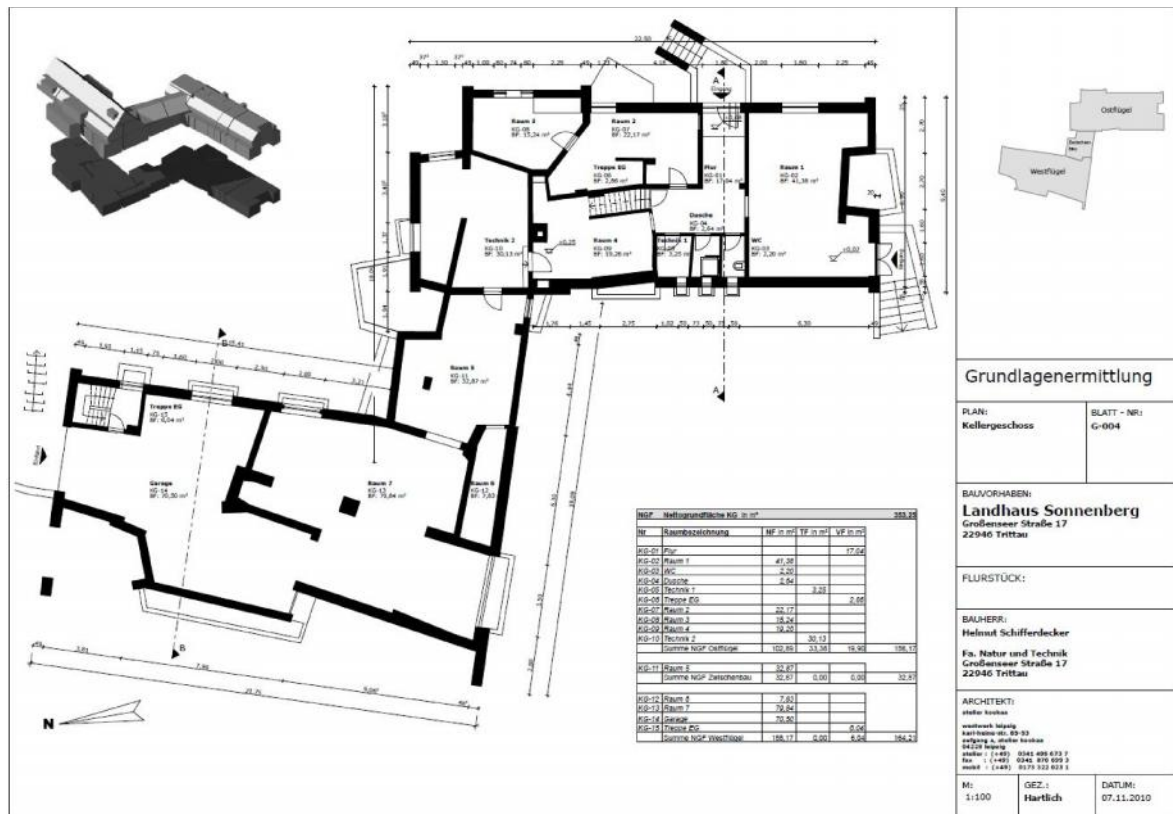


Osten



### 3. Grundrisse<sup>30</sup>

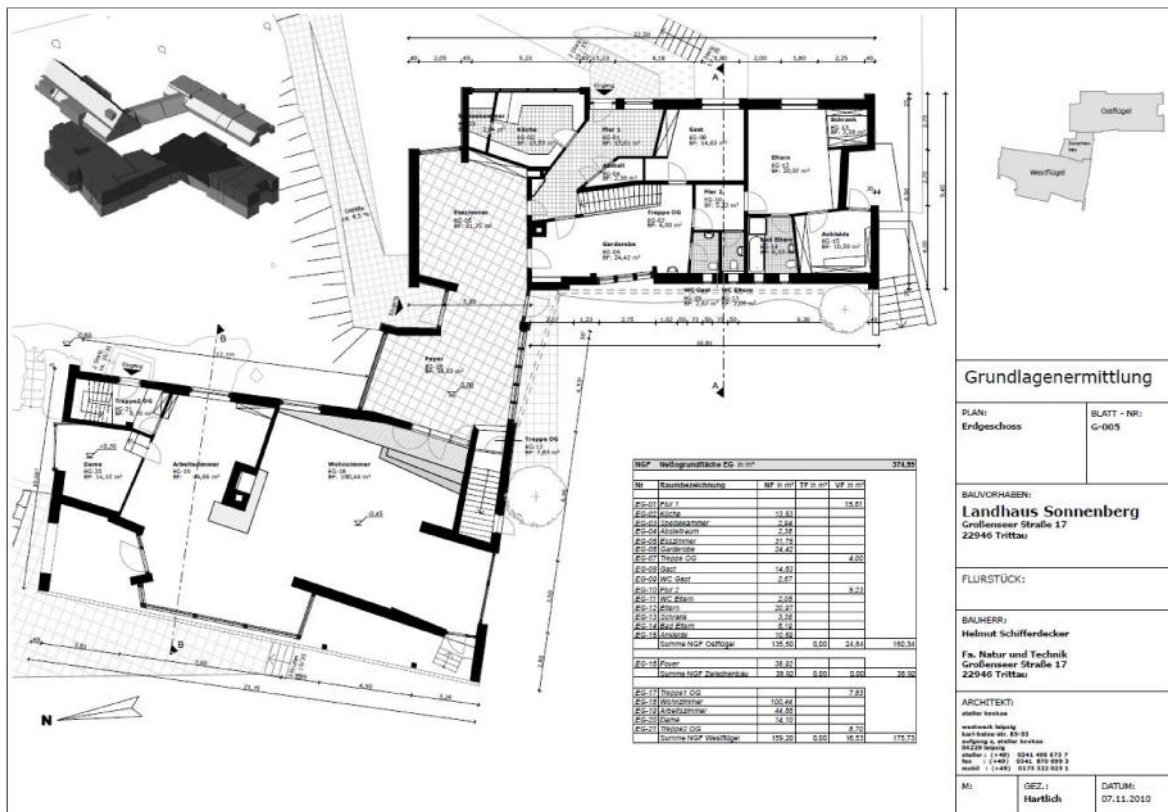
#### Kellergeschoss



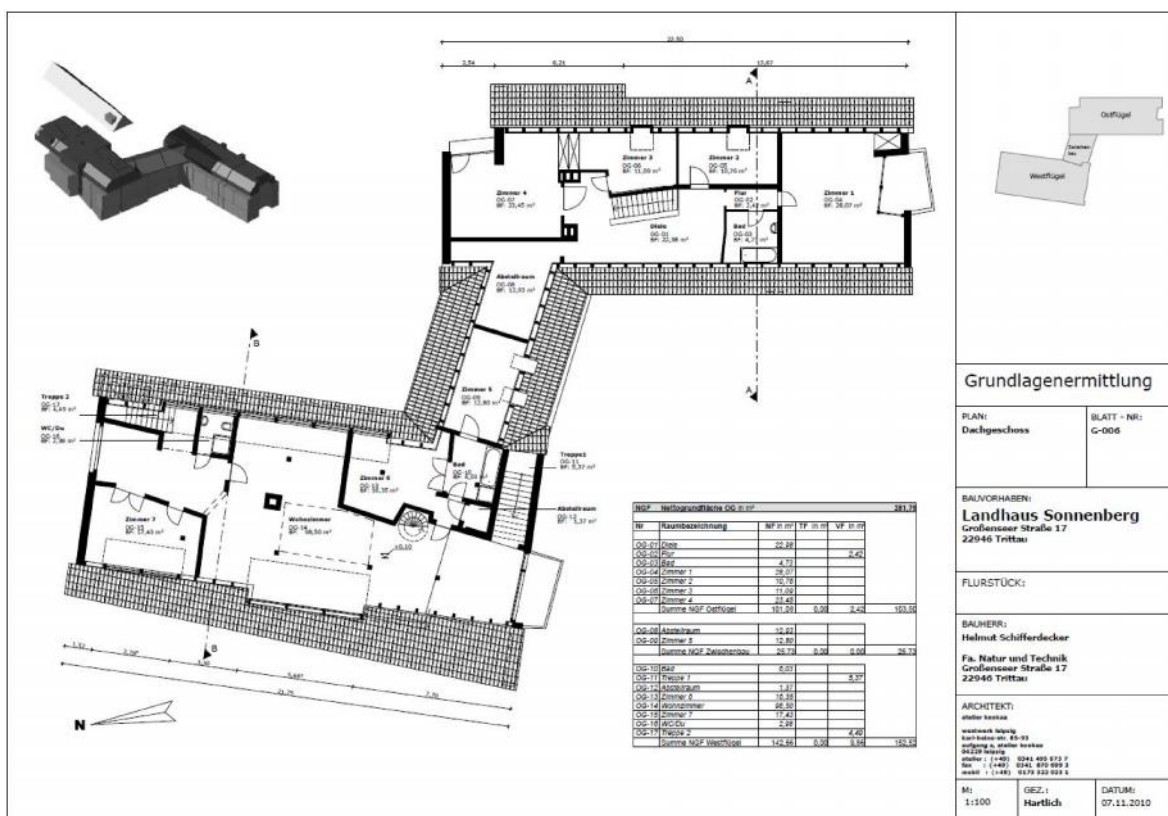
<sup>30</sup> Quelle: atelier kookaa



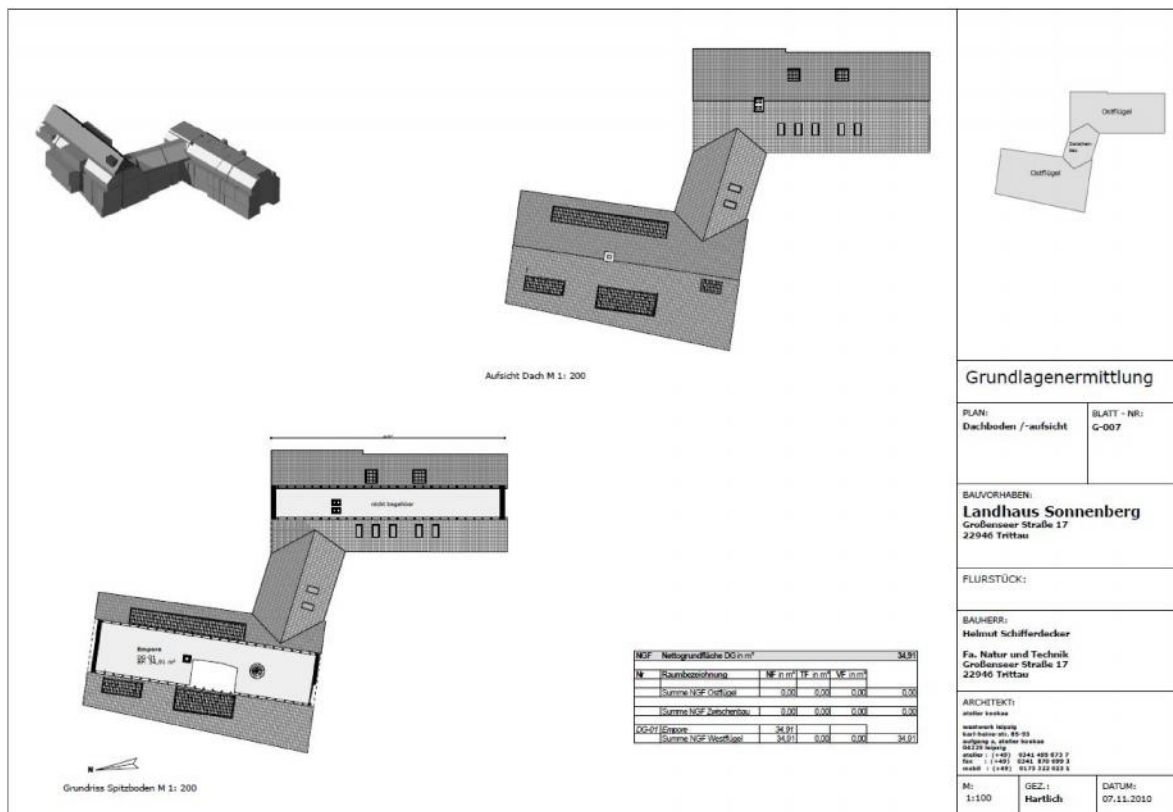
## Erdgeschoss



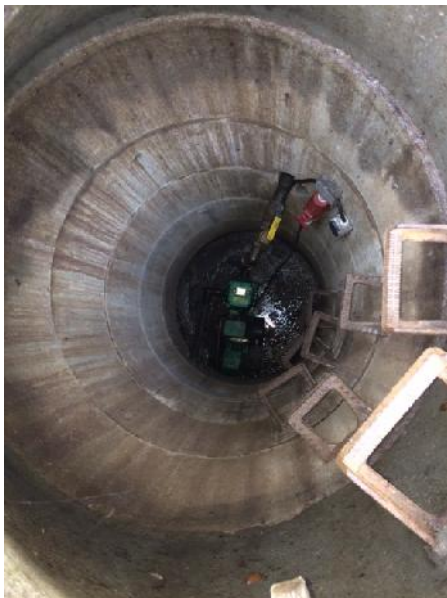
## 1. Obergeschoss



## Dachgeschoss

4. Anlagentechnik/Hausanschlussraum<sup>31</sup>

Wasserversorgung(Brunnen, Pumpe) Druckbehälter



<sup>31</sup> Quelle: Eigene Bilder

Heizungsraum



Radiatoren



Öltank (unterirdisch)





## Anlagen, Teil 2

### Ergänzend zu 2.1 Allgemeine Daten

#### 1. Flächen- und Volumenberechnung nach DIN-277

Kellergeschoss in m<sup>2</sup>Erdgeschoss in m<sup>2</sup>

KG	NF	TF	VF	EG	NF	TF	VF
OST	102,89	33,38	19,90	OST	135,50	0,00	24,84
MITTE	32,87	0,00	0,00	MITTE	38,92	0,00	0,00
WEST	158,17	0,00	6,04	WEST	159,20	0,00	16,53
SUMME	293,93	33,38	25,94	SUMME	333,62	0,00	41,37

1. Obergeschoss in m<sup>2</sup>Dachgeschoss in m<sup>2</sup>

1.OG	NF	TF	VF	DG	NF	TF	VF
OST	101,08	0,00	2,42	OST	0,00	0,00	0,00
MITTE	25,73	0,00	0,00	MITTE	0,00	0,00	0,00
WEST	142,66	0,00	9,86	WEST	34,91	0,00	0,00
SUMME	269,47	0,00	12,28	SUMME	34,91	0,00	0,00

Nettogrundfläche in m<sup>2</sup>

NGF	NF	TF	VF
GESAMT	931,93	33,38	79,59
SUMME	1.044,90		

Bruttogrundfläche in m<sup>2</sup>

BGF	NGF	KGF
1.444,90	1.044,90	400,00

Rauminhalte in m<sup>3</sup> bei einer Raumhöhe von durchschnittlich 2,55 m

BRI	NRI	KRI
3.684	2.664	1.020

## 2. Flächen- und Volumenberechnung nach EnEV 2009

## Gebäudehüllflächenberechnung

Gebäudeteil	BGF	Ansichten*	Außenwandflächen**			Öffnungen				Dachflächen***				
			Keller	EG/OG	DG	Fenster	Türen	Fenster	Türen	Gauben	DFF	gesamt	gedämmt	Gauben
Ostflügel	197,11 m²	Nord	29,26 m²	49,69 m²	3,53 m²	0,78 m²	-	8,58 m²	-	-	-	-	-	-
		Süd	26,80 m²	49,56 m²	5,53 m²	-	3,76 m²	10,86 m²	-	-	-	-	-	-
		Ost	43,36 m²	43,97 m²	-	4,03 m²	3,78 m²	12,17 m²	-	4,46 m²	-	143,11 m²	71,93 m²	8,88 m²
		West	47,52 m²	51,04 m²	-	0,96 m²	-	7,46 m²	-	-	2,70 m²	135,54 m²	66,99 m²	-
Zwischenbau	41,60 m²	Nord	19,83 m²	10,12 m²	-	-	-	11,40 m²	5,35 m²	-	-	38,51 m²	37,60 m²	-
		Süd	17,98 m²	4,70 m²	-	-	-	11,93 m²	4,16 m²	-	1,08 m²	41,20 m²	34,96 m²	-
Westflügel	209,42 m²	Nord	11,52 m²	48,38 m²	-	-	7,41 m²	7,80 m²	-	-	-	-	-	-
		Süd	31,29 m²	51,54 m²	-	-	-	20,62 m²	1,93 m²	-	-	-	-	-
		Ost	32,17 m²	39,54 m²	-	2,99 m²	-	9,60 m²	2,39 m²	21,42 m²	0,54 m²	144,42 m²	134,81 m²	32,16 m²
		West	70,84 m²	56,43 m²	-	0,69 m²	-	38,77 m²	4,81 m²	21,62 m²	-	164,77 m²	100,27 m²	35,41 m²
Gesamt	448,13 m²	Nord	60,61 m²	108,19 m²	3,53 m²	0,78 m²	7,41 m²	27,78 m²	5,35 m²	-	-	38,51 m²	37,60 m²	-
		Süd	76,07 m²	105,80 m²	5,53 m²	-	3,76 m²	43,41 m²	6,09 m²	-	1,08 m²	41,20 m²	34,96 m²	-
		Ost	75,53 m²	83,51 m²	-	7,02 m²	3,78 m²	21,77 m²	2,39 m²	25,88 m²	0,54 m²	287,53 m²	206,74 m²	41,04 m²
		West	118,36 m²	107,47 m²	-	1,65 m²	-	46,23 m²	4,81 m²	21,62 m²	2,70 m²	300,31 m²	167,26 m²	35,41 m²
Summe			330,57 m²	404,97 m²	9,06 m²	9,45 m²	14,95 m²	139,19 m²	18,64 m²	47,50 m²	4,32 m²	667,55 m²	446,56 m²	76,45 m²
			744,60 m²			234,05 m²			1.190,56 m²					
						wärmetauschende Umfassungsfläche A			1.778 m²					

\* alle Ansichten des Gebäudeteils

\*\* alle Außenwandflächen ohne Öffnungen

\*\*\* alle Dachflächen ohne Öffnungen

Flächen und Volumen

Angaben zur Aufstellung einer Energiebilanz nach EnEV * **			Legende
Kenngröße	Berechnung	Wert	nach EnEV
wärmetauschende Umfassungsfläche <b>A</b>	$A_w + A_d + A_f + A_g + A_{dl}$	1.778,23 m <sup>2</sup>	<b>A</b> äußere Gebäudehülle <b>A<sub>w</sub></b> Außenwände <b>A<sub>d</sub></b> Dachflächen <b>A<sub>f</sub></b> Fenster und Türen <b>A<sub>g</sub></b> Grundfläche <b>A<sub>dl</sub></b> Deckenflächen
beheiztes Gebäudevolumen <b>V<sub>e</sub></b>	wurde vorher festgestellt	2.825,00 m <sup>3</sup>	<b>V<sub>e</sub></b> Volumen umgeben von der Gebäudehüllfläche
Energiebezugsfläche <b>A<sub>EB</sub></b>	$BGF(EG) + BGF(DG) + BGF(DB)$	954,00 m <sup>2</sup>	<b>BGF<sub>EG</sub></b> BGF des Erdgeschosses <b>BGF<sub>DG</sub></b> BGF des Dachgeschosses <b>BGF<sub>DB</sub></b> BGF des Dachbodens beheizte Wohnfläche inkl. Konstruktionsflächen
Gesamtfläche Fenster <b>A<sub>fe</sub></b>	$\Sigma(A_{fe})$	191,01 m <sup>2</sup>	Summe der Flächen aller Fenster s. Hüllflächenberechnung

\* Berechnung ohne Keller

\*\* Din 4108-6

### 3. Stromverbrauch und Kosten

Verbrauchsangaben				Verbrauchsangaben			
Strombereich 1				Strombereich 2			
Jahr	Menge in kWh	Preis in €	Preis/kWh in €/kWh	Jahr	Menge in kWh	Preis in €	Preis/kWh in €/kWh
2010	12.208,00	2.738,23	0,22				
2011	12.711,00	2.887,36	0,23				
2012	14.709,00	3.560,25	0,24				
2013	13.742,00	3.689,84	0,27	2013	5.376,00	1.479,00	0,28
2014	10.246,00	2.922,60	0,29	2014	5.260,00	1.538,00	0,29
Ø	12.723,20	3.159,66	0,25	Ø	5.318,00	1.508,50	0,28
Gesamtstromverbrauch				Gesamtstromverbrauch zur Warmwasserbereitung			
Strombereich1 + Strombereich2				Festgestellter Wert			
Jahr	Menge in kWh	Preis in €	Preis/kWh in €/kWh	Jahr	Menge in kWh	Preis in €	Preis/kWh in €/kWh
2014	18.041,20	4.668,16	0,27	2014	11.299,00	3.006,05	0,27

### 4. Brennstoffverbrauch und Kosten

Verbrauchsangaben			
Heizöl EL (Heizwärme)			
Jahr	Menge in l	Preis in €	Preis/Liter in €/l
2010	20.721,00	13.941,60	0,67
2011	21.545,00	17.410,16	0,81
2012	12.982,00	11.810,75	0,91
2013	21.867,00	18.341,37	0,84
2014	13.371,00	10.237,38	0,77
Ø	18.097,20	14.348,25	0,80
Durchschnittswert bezogen auf den aktuellen Heizölpreis			
	Menge in l	Preis in €	Preis/Liter in €/l
	18.097,20	12.668,04	0,70

Der aktuellste Heizölpreis vom 15. Juli 2015 im Bundesdurchschnitt beträgt 0,61 €/l.

Dadurch, dass der Ölpreis jedoch schwankend ist und im Frühling noch bei 0,66 €/l betrug, wurde hier mit einem etwas höheren Wert von 0,70 €/l gerechnet.

### 5. Wärmedurchgangskoeffizienten

Wärmeleitfähigkeit aus EnEV 2009 Anlage 1 Tafel 2.1.3

Wärmeübergangswiderstände R nach DIN EN-ISO 6946

### Außenwand

Wärmedurchgangskoeffizient U-WERT					
Außenwand					
Schichtfolge	Dicke $d$	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$	Wärmedurchlasswiderstand $R$	Wärmeübergangswiderstand	Zusammenfassung der Widerstände
	$d$ [m]	$\lambda$ [W/mK]	$R=d/$ [m²K/W]	$R_{si}, R_{sa}$ [m²K/W]	$R_{si}+R_{sa}+R=RT$ [m²K/W]
Raumluft	-	-	-	0,13	0,13
Vollziegel	0,35	0,68	0,5147	-	0,54
Gipsputz	0,02	0,70	0,0286		
Außenluft	-	-	-	0,04	0,04
Gesamt	0,37				0,71327731
maximale U-Werte sind der EnEV 2009 Anlage 01 zu entnehmen			U-Wert		
			$U=1/RT$ [W/m²K]		
			1,4020		

### Dach

Wärmedurchgangskoeffizient U-WERT					
Dach					
Schichtfolge	Dicke $d$	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$	Wärmedurchlasswiderstand $R$	Wärmeübergangswiderstand	Zusammenfassung der Widerstände
	$d$ [m]	$\lambda$ [W/mK]	$R=d/$ [m²K/W]	$R_{si}, R_{sa}$ [m²K/W]	$R_{si}+R_{sa}+R=RT$ [m²K/W]
Raumluft	-	-	-	0,13	0,13
Holzschicht	0,020	0,13	0,1538	-	4,06
Dämmschicht DG 040	0,15	0,13	1,1538		
		0,04	3,7500		
Holzschicht	0,020	0,13	0,1538	0,13	1,46
Außenluft	-	-	-		
Gesamt	0,19				
Bei der Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizientes, muss darauf geachtet werden, dass man Das Dach in Gefachbereich und in Sparrenbereich einteilt. Somit ergibt sich folgende Formel: * $UD_{Dach} = \frac{(U-Gefach \cdot A-Gefach) + (U-Sparren \cdot A-Sparren)}{A-Gesamt}$  maximale U-Werte sind der EnEV 2009 Anlage 01 zu entnehmen			Gefachbreite AG		UG-Wert
			AG [m]		$U=1/RT$ [W/m²K]
			0,60		0,5809
			Sparrenbreite AS		US-Wert
			AS [S]		$U=1/RT$ [W/m²K]
			0,12		0,2316
			Gesamtbreite A		UD-Wert
			A [m]		$U$ [W/m²K] *siehe Formel
			0,72		0,5227

### Kellerdecke

Wärmedurchgangskoeffizient U-WERT					
Kellerdecke					
Schichtfolge	Dicke $d$	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$	Wärmedurchlasswiderstand $R$	Wärmeübergangswiderstand	Zusammenfassung der Widerstände
	$d [m]$	$\lambda [W/mK]$	$R=d/ [m^2K/W]$	$R_{si}, R_{sa} [m^2K/W]$	$R_{si}+R_{sa}+R=RT [m^2K/W]$
Raumluft	-	-	-	0,17	0,17
Zementestrich	0,05	1,40	0,0357	-	0,28
Stahlbetonbal-kendecke	0,20	-	0,2400		
Außenluft	-	-	-	0,17	0,17
Gesamt	0,20				0,6157
maximale U-Werte sind der EnEV 2009 Anlage 01 zu entnehmen				U-Wert	
				$U=1/RT [W/m^2K]$	
				1,6241	

## Fenster

Wärmedurchgangskoeffizient				
Fenster				
Tafel 120.1 EnEV 2009 Wärmedurchgangskoeffizient für Verglasung				
Beschreibung	Tafel-Nr.	Rahmengruppe	Fensterkategorie-Nr.	U-Wert $U [W/m^2K]$
Isolierglas mit zweimal > 10 16mm Luft- zwischenraum	1,7	3	2, 3, 5	3,20
Doppelverglasung mit 20 bis 100mm Scheibenabstand	1,8	1	1, 4, 6	2,50
<b>Legende Fensterkategorien</b>  Nr. 1 Fenster Keller/EG Nr. 2 Fenster Mittelbau Dach Nr. 3 Fenster Ostflügel Dach Nr. 4 Fenster Ostflügel Gaube Nr. 5 Fenster Westflügel Dach Nr. 6 Fenster Westflügelgaube		<b>maximale U-Werte</b> sind der EnEV 2009 Anlage 01 zu entnehmen		<b>Legende Rahmengruppen</b>  Gruppe 1: Holz, Kunststoff oder Holzkombinatione; ohne besonderen Nachweis des U-Wertes des Rahmens  Gruppe 3: Beton, Stahl oder Aluminium; ohne besonderen Nachweis des U-Wertes des Rahmens

## Tür

Wärmedurchgangskoeffizient	
Außentür	
festgestellter Wert	
Beschreibung	U-Wert $U [W/m^2K]$
Holzaußentür	2,60

## 6. Energieverluste

Transmissionswärmeverlust <b>H<sub>T</sub></b>	$\Sigma (A_{\text{Bauteil}} * U_{\text{Bauteil}} * f_{\text{min}} * (\theta_{\text{in}} - \theta_{\text{au}}) * t_{\text{HP}})$ <p style="text-align: center;"><b>AEB</b></p>	110.077,00 kWh/a	<p><b>HT</b> Transmissionswärmeverluste entstehen durch Energieabgabe an die Umgebung durch die Gebäudehülle</p> <p><b>ABauteil</b> Gesamtfläche des Bauteils (s. Hüllflächenberechnung)</p> <p><b>UBauteil</b> U-Wert des jeweiligen Bauteils (s. U-Werttabelle)</p> <p><b>f<sub>min</sub></b> Abminderungsfaktoren der Bauteile (f<sub>min</sub>=1 bei Angrenzungen an die Außenluft oder f<sub>min</sub>=0,5 bei Angrenzungen an Keller)</p> <p><b>θ<sub>in</sub></b> Innentemperatur 19°C</p> <p><b>θ<sub>au</sub></b> Außentemperatur 6,3°C</p> <p><b>t<sub>HP</sub></b> Heizzeit = 6 Monate * 30 d = 180 d * 24 h = 4320 h</p> <p><b>AEB</b> Energiebezugsfläche</p>
Lüftungswärmeverlust <b>H<sub>V</sub></b>	$n * hr * 0,34 * (\theta_{\text{in}} - \theta_{\text{au}}) * t_{\text{HP}}$	35.088,49 kWh/a	<p><b>H<sub>V</sub></b> Lüftungswärmeverlust entstehen durch Energieabgabe an die Umwelt durch Lüftungsmaßnahmen</p> <p><b>n</b> Luftwechselrate n=0,7 1/m</p> <p><b>hr</b> Raumhöhe hr=2,75 m</p> <p><b>θ<sub>in</sub></b> Innentemperatur 19°C</p> <p><b>θ<sub>au</sub></b> Außentemperatur 6,3°C</p> <p><b>t<sub>HP</sub></b> Heizzeit t<sub>HP</sub> = 4320 h</p>
Anlagenwärmeverluste <b>H<sub>A</sub></b>	wurde vorher festgestellt	50.484,00 kWh/a	<b>HA</b> Anlagenwärmeverluste entstehen beim Betrieb von gebäudetechnischen Anlagen
Wärmeverluste Gesamt <b>H<sub>G</sub></b>	<b>H<sub>G</sub> = H<sub>T</sub> + H<sub>V</sub> + H<sub>A</sub></b>	195.649,49 kWh/a	<b>HG</b> Summe der Wärmeverluste aus Transmission, Lüftung und Anlagen

## 7. Energiegewinne

Fremdwärme: solare Wärmegewinne <b>Q<sub>S</sub></b>	$g_m * r_m * G_m * (A_{fe} / AEB)$	<b>23.954,94 kWh/a</b>	<b>Q<sub>S</sub></b> solare Wärmegewinnung durch Sonneneinstrahlung dient als Fremdwärmequelle  <b>g<sub>m</sub></b> Energiedurchlassgrad $g_m=0,81$ <b>r<sub>m</sub></b> Minderungsfaktor (annehmbarer Mittelwert) $r_m=0,36$ <b>G<sub>m</sub></b> mittlere Globalstrahlung (Schätzwert) $G_m=430kWh/m^2a$ <b>A<sub>fe</sub></b> Gesamtfläche fenster <b>AEB</b> Energiebezugsfläche
Fremdwärme: innere Wärmegewinne <b>Q<sub>I</sub></b>	wurde vorher festgestellt	<b>27.416,00 kWh/a</b>	<b>Q<sub>I</sub></b> innere Wärmegewinne: Nutzung der Gebäude durch Menschen und Elektrogeräten
Fremdwärme: Wärmegewinne Gesamt <b>Q<sub>G</sub></b>	<b>Q<sub>G</sub> = Q<sub>S</sub> + Q<sub>I</sub></b>	<b>51.370,94 kWh/a</b>	<b>Q<sub>G</sub></b> Summe der Gewinne aus inneren und solaren Gewinne

## 8. Energiebedarfsrechnung



Jahreswärmebedarf Heizung <b>Q<sub>H</sub></b>	$Q_H = (H_T + H_V) - \eta * (Q_s + Q_l)$	<b>101.500,19 kWh/a</b>	<b>Q<sub>H</sub></b> benötigte Wärmeenergie welche zum Heizen benötigt wird <b>η</b> Nutzungsgrad zeigt an in welchem Umfang die Fremdwärme genutzt wird; in diesem Fall zu 85% (Schätzwert) <b>H<sub>T</sub></b> Transmissionswärmeverluste <b>H<sub>V</sub></b> Lüftungswärmeverlust <b>Q<sub>s</sub></b> solare Wärmegewinne <b>Q<sub>l</sub></b> innere Wärmegewinne
Primärenergiebedarf pro Jahr <b>Q<sub>P</sub></b>	$Q_P = (Q_H + Q_W) * e_p$	<b>191.758,62 kWh/a</b>	<b>Q<sub>P</sub></b> benötigter Primärenergiebedarf <b>Q<sub>H</sub></b> Jahreswärmeenergiebedarf <b>Q<sub>W</sub></b> Jahreswärmeenergiebedarf (Warmwasser) e <sub>p</sub> Anlagenaufwandszahl (Schätzwert) e <sub>p</sub> =1,7
Endenergiebedarf pro Jahr <b>Q<sub>E</sub></b>	$Q_E = H_G - Q_G$	<b>144.278,55 kWh/a</b>	<b>Q<sub>E</sub></b> benötigte Endenergiebedarf <b>H<sub>G</sub></b> Gesamtenergieverluste <b>Q<sub>G</sub></b> Gesamtenergiegewinne

## 9. Emissionsberechnung

Emissionswerte					
Stoff	Energieträger	Primärenergie- faktor	Umrechnungs- faktor in g/kWh	Emission in Kg/m²	Summe in Kg/m²
Kohlenstoffdioxid CO2	Heizöl	1,10	311,00	36,3975	57,4297
	Strom	2,60	683,00	21,0322	
Schwefeldioxid SO2	Heizöl	1,10	0,46	0,0533	0,0875
	Strom	2,60	1,11	0,0342	
Stickoxide NOx	Heizöl	1,10	0,23	0,0266	0,0445
	Strom	2,60	0,58	0,0180	
Jahreswärmebedarf in kWh/a		Energiebezugs - fläche in m²	Emission=		
Heizöl	101.500,19		(Heizwärmebedarf*Primärenergiefaktor*Umrechnungsfaktor)		
Strom	11.299,00		Energiebezugsfläche		

### Ergänzend zu 3.1 Modernisierungsmaßnahme 1

#### 1. Verbesserung der U-Werte

Wärmedurchgangskoeffizient U-WERT					
Außenwand					
Schichtfolge	Dicke <i>d</i>	Wärmeleitfähigkeit <i>λ</i>	Wärmedurchlasswiderstand <i>R</i>	Wärmeübergangswiderstand	Zusammenfassung der Widerstände
	<i>d</i> [m]	<i>λ</i> [W/mK]	<i>R</i> = <i>d</i> / [m²K/W]	<i>R</i> <sub>si</sub> , <i>R</i> <sub>sa</sub> [m²K/W]	<i>R</i> <sub>si</sub> + <i>R</i> <sub>sa</sub> + <i>R</i> = <i>RT</i> [m²K/W]
Raumluft	-	-	-	0,13	0,13
Zementputz	0,02	1,40	0,0143	-	3,56
Dämmschicht DG 040	0,12	0,04	3,0000		
Vollziegel	0,35	0,68	0,5147		
Gipsputz	0,02	0,70	0,0286		
Außenluft	-	-	-	0,04	0,04
Gesamt	0,37				3,72756303
maximale U-Werte sind der EnEV 2009 Anlage 01 zu entnehmen			<b>U-Wert</b>		
			$U=1/RT$ [W/m²K]		
			<b>0,2683</b>		

#### 2. Energieverluste

Transmissionswärmeverluste HT	
$\frac{\sum (A_{\text{Bauteil}} \cdot U_{\text{Bauteil}} \cdot f_{\text{min}} \cdot (t_{\text{in}} - t_{\text{au}}))}{A_{\text{EB}}} \cdot t_{\text{HP}}$	83.325,82 kWh/a
<p><b>HT</b> Transmissionswärmeverluste entstehen durch Energieabgabe an die Umgebung durch die Gebäudehülle</p> <p><b>ABauteil</b> Gesamtfläche des Bauteils (s. Hüllflächenberechnung)</p> <p><b>UBauteil</b> U-Wert des jeweiligen Bauteils (s. U-Werttabelle)</p> <p><b>fmin</b> Abminderungsfaktoren der Bauteile (fmin=1 bei Angrenzung an die Außenluft oder fmin=0,5 bei Angrenzung an Keller)</p> <p><b>in</b> Innentemperatur 19°C</p> <p><b>au</b> Außentemperatur 6,3°C</p> <p><b>tHP</b> Heizzeit = 6 Monate * 30 d = 180 d * 24 h = 4320 h</p> <p><b>AEB</b> Energiebezugsfläche</p>	

### 3. Energiebedarf

Heizungswärmebedarf QH	Endenergiebedarf QE	Primärenergiebedarf QP
$Q_H = (H_T + H_V) - \eta \cdot (Q_s + Q_i)$	$Q_E = H_G - Q_G$	$Q_P = (Q_H + Q_w) \cdot e_p$
74.749,02 kWh/a	117.527,37 kWh/a	146.281,63 kWh/a
<p><b>QH</b> benötigte Wärmeenergie welche zum Heizen benötigt wird Nutzungsgrad zeigt an in welchem Umfang die Fremdwärme genutzt wird; in diesem Fall zu 85% (Schätzwert)</p> <p><b>HT</b> Transmissionswärmeverluste</p> <p><b>HV</b> Lüftungswärmeverlust</p> <p><b>QS</b> solare Wärmegewinne</p> <p><b>QI</b> innere Wärmegewinne</p>	<p><b>QE</b> benötigte Endenergiebedarf</p> <p><b>HG</b> Gesamtenergieverluste</p> <p><b>QG</b> Gesamtenergiegewinne</p>	<p><b>QP</b> benötigter Primärenergiebedarf</p> <p><b>QH</b> Jahreswärmeenergiebedarf</p> <p><b>QW</b> Jahreswärmeenergiebedarf (Warmwasser)</p> <p><b>ep</b> Anlagenaufwandszahl (Schätzwert) ep=1,7</p>

### 4. Emissionsberechnung

Emissionswerte					
Stoff	Energieträger	Primärenergie-faktor	Umrechnungs-faktor in g/kWh	Emission in Kg/m²	Summe in Kg/m²
Kohlenstoffdioxid CO2	Heizöl	1,10	311,00	26,8047	47,8369
	Strom	2,60	683,00	21,0322	
Schwefeldioxid SO2	Heizöl	1,10	0,46	0,0392	0,0734
	Strom	2,60	1,11	0,0342	
Stickoxide NOx	Heizöl	1,10	0,23	0,0196	0,0375
	Strom	2,60	0,58	0,0180	
Jahreswärmebedarf in kWh/a		Energiebezugs - fläche in m²	Emission=		
Heizöl	74.749,02	954,00	(Heizwärmebedarf*Primärenergiefaktor*Umrechnungsfaktor)		
Strom	11.299,00		Energiebezugsfläche		

## 5. Investitionskosten und Lohnkosten

Anfangsinvestition		
Maßnahme 1		
Materialkosten		
Material	Menge in m² oder Sack	Preis in €/ME
Styropor	414	3
Zementputz	23	7
Summe	1.197	
Lohnkosten		
Art	Zeit in h	Preis in €/h
Arbeitspreis	80	40
Summe	3.200	
Gesamt	4.397,29 €	

## 6. Wirtschaftlichkeit

Maßnahme 1							
Ausgangswerte					Ermittlung von Et		
Arbeitspreis in €	Verbrauch in l	n in Jahre	p in %	qt 1+p/100	At IST in €	At M in €	Et in €
0,70	7.475	30	5,500	1,055	12.668	5.232	7.436
Ausgaben			Einnahmen		Kapitalwert der Überschüsse		
At in €	Ai in €	KA in €	Et in €	KE in €	KE in €	KA in €	C in €
5.232	4.397	153.187	7.436	211.439	211.439	153.187	58.252

Legende
Verbrauch: Brennstoffverbrauch in Liter Arbeitspreis: Preis pro Liter Brennstoff n: Betrachtungszeitraum p: Kalkulationszinssatz Ai: Anfangsinvestition t: Zeitpunkt t=1,...,n Et: Einnahmen zum Zeitpunkt t At: Ausgaben zum Zeitpunkt t KA: Kapitalwert der Ausgaben (Gesamtkosten) KE: Kapitalwert der Einnahmen C: Kapitalwert der Überschüsse RW: Restwert pro Jahr

## Ergänzend zu 3.2 Modernisierungsmaßnahme 2

### 1. Verbesserung der U-Werte

Wärmedurchgangskoeffizient U-WERT					
Kellerdecke					
Schichtfolge	Dicke d	Wärmeleitfähigkeit λ	Wärmedurchlass- widerstand R	Wärmeübergangs- widerstand	Zusammenfassung der Widerstände
	d [m]	λ [W/mK]	R=d/ [m²K/W]	Rsi, Rsa [m²K/W]	Rsi+Rsa+R=RT [m²K/W]
Raumluft	-	-	-	0,17	0,17
Zementestrich	0,05	1,40	0,0357	-	2,78
Stahlbetonbal- kendecke	0,20	-	0,2400		
Dämmschicht DG 040	0,10	0,04	2,5000		
Außenluft	-	-	-	0,17	0,17
Gesamt	0,20				3,1157
maximale U-Werte sind der EnEV 2009 Anlage 01 zu entnehmen				U-Wert	
				$U=1/RT [W/m²K]$	
				0,3210	

## 2. Energieverluste

Transmissionswärmeverluste HT	
$\frac{\sum (A_{\text{Bauteil}} * U_{\text{Bauteil}} * f_{\text{min}} * (t_{\text{in}} - t_{\text{au}})) * t_{\text{HP}}}{A_{\text{EB}}}$	92.069,07 kWh/a
<p><b>HT</b> Transmissionswärmeverluste entstehen durch Energieabgabe an die Umgebung durch die Gebäudehülle</p> <p><b>ABauteil</b> Gesamtfläche des Bauteils (s. Hüllflächenberechnung)</p> <p><b>UBauteil</b> U-Wert des jeweiligen Bauteils (s. U-Werttabelle)</p> <p><b>fmin</b> Abminderungsfaktoren der Bauteile (fmin=1 bei Angrenzung an die Außenluft oder fmin=0,5 bei Angrenzung an Keller)</p> <p><b>in</b> Innentemperatur 19°C</p> <p><b>au</b> Außentemperatur 6,3°C</p> <p><b>tHP</b> Heizzeit = 6 Monate * 30 d = 180 d * 24 h = 4320 h</p> <p><b>AEB</b> Energiebezugsfläche</p>	

## 3. Energiebedarf

Heizungswärmebedarf QH	Endenergiebedarf QE	Primärenergiebedarf QP
$Q_H = (H_T + H_V) - \eta * (Q_s + Q_i)$	$Q_E = H_G - Q_G$	$Q_P = (Q_H + Q_W) * e_p$
83.492,26 kWh/a	126.270,62 kWh/a	161.145,14 kWh/a
<p><b>QH</b> benötigte Wärmeenergie welche zum Heizen benötigt wird</p> <p>Nutzungsgrad zeigt an in welchem Umfang die Fremdwärme genutzt wird; in diesem Fall zu 85% (Schätzwert)</p> <p><b>HT</b> Transmissionswärmeverluste</p> <p><b>HV</b> Lüftungswärmeverlust</p> <p><b>QS</b> solare Wärmegewinne</p> <p><b>QI</b> innere Wärmegewinne</p>	<p><b>QE</b> benötigte Endenergiebedarf</p> <p><b>HG</b> Gesamtenergieverluste</p> <p><b>QG</b> Gesamtenergiegewinne</p>	<p><b>QP</b> benötigter Primärenergiebedarf</p> <p><b>QH</b> Jahreswärmeenergiebedarf</p> <p><b>QW</b> Jahreswärmeenergiebedarf (Warmwasser)</p> <p><b>ep</b> Anlagenaufwandszahl (Schätzwert) ep=1,7</p>

#### 4. Emissionsberechnung

Emissionswerte					
Stoff	Energieträger	Primärenergie- faktor	Umrechnungs- faktor in g/kWh	Emission in Kg/m²	Summe in Kg/m²
Kohlenstoffdioxid CO2	Heizöl	1,10	311,00	29,9399	50,9722
	Strom	2,60	683,00	21,0322	
Schwefeldioxid SO2	Heizöl	1,10	0,46	0,0438	0,0780
	Strom	2,60	1,11	0,0342	
Stickoxide NOx	Heizöl	1,10	0,23	0,0219	0,0398
	Strom	2,60	0,58	0,0180	
Jahreswärmebedarf in kWh/a		Energiebezugs - fläche in m²	Emission=		
Heizöl	83.492,26	954,00	(Heizwärmebedarf*Primärenergiefaktor*Umrechnungsfaktor)		
Strom	11.299,00		Energiebezugsfläche		

#### 5. Investitionskosten und Lohnkosten

Anfangsinvestition		
Maßnahme 2		
Materialkosten		
Material	Menge in m² oder Sack	Preis in €/ME
Styropor	487	3
Zementputz	0	0
Summe	1.218	
Lohnkosten		
Art	Zeit in h	Preis in €/h
Arbeitspreis	80	40
Summe	3.200	
Gesamt	4.417,50 €	

## 6. Wirtschaftlichkeit

Maßnahme 2							
Ausgangswerte					Ermittlung von Et		
Arbeitspreis in €	Verbrauch in l	n in Jahre	p in %	qt 1+p/100	At IST in €	At M in €	Et in €
0,70	8.349	30	5,50	1,055	12.668	5.844	6.824
Ausgaben			Einnahmen		Kapitalwert der Überschüsse		
At in €	Ai in €	KA in €	Et in €	KE in €	KE in €	KA in €	C in €
5.844	4.418	170.611	6.824	194.036	194.036	170.611	23.425

Legende siehe Modernisierungsmaßnahme 1

## Ergänzend zu 3.3 Modernisierungsmaßnahme 3

### 1. Verbesserung der U-Werte

Wärmedurchgangskoeffizient U-WERT					
Außenwand					
Schichtfolge	Dicke d	Wärmeleitfähigkeit λ	Wärmedurchlass- widerstand R	Wärmeübergangs- widerstand	Zusammenfassung der Widerstände
	d [m]	λ [W/mK]	R=d/ [m²K/W]	Rsi, Rsa [m²K/W]	Rsi+Rsa+R=RT [m²K/W]
Raumluft	-	-	-	0,13	0,13
Zementputz	0,02	1,40	0,0143	-	3,56
Dämmschicht DG 040	0,12	0,04	3,0000		
Vollziegel	0,35	0,68	0,5147		
Gipsputz	0,02	0,70	0,0286		
Außenluft	-	-	-	0,04	0,04
Gesamt	0,37				3,72756303
maximale U-Werte sind der EnEV 2009 Anlage 01 zu entnehmen				U-Wert	
				$U=1/RT [W/m²K]$	
				0,2683	



<b>Wärmedurchgangskoeffizient U-WERT</b> <b>Kellerdecke</b>					
Schichtfolge	Dicke $d$	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$	Wärmedurchlass- widerstand $R$	Wärmeübergangs- widerstand	Zusammenfassung der Widerstände
	$d [m]$	$\lambda [W/mK]$	$R=d/ [m^2K/W]$	$R_{si}, R_{sa} [m^2K/W]$	$R_{si}+R_{sa}+R=RT [m^2K/W]$
Raumluft	-	-	-	0,17	0,17
Zementestrich	0,05	1,40	0,0357	-	3,29
Stahlbetonbal- kendecke	0,20	-	0,2400		
Dämmschicht DG 040	0,12	0,04	3,0000		
Zementputz	0,02	1,40	0,0143		
Außenluft	-	-	-	0,17	0,17
Gesamt	0,20				3,6300
<b>maximale U-Werte</b> sind der EnEV 2009 Anlage 01 zu entnehmen				<b>U-Wert</b>	
				$U=1/RT [W/m^2K]$	
				<b>0,2755</b>	

## 2. Energieverluste

<b>Transmissionswärmeverluste HT</b>	
$\frac{\sum (A_{Bauteil} \cdot U_{Bauteil} \cdot f_{min} \cdot (t_{in} - t_{au}))}{AEB} \cdot t_{HP}$	<b>64.439,97 kWh/a</b>
<b>HT</b> Transmissionswärmeverluste entstehen durch Energieabgabe an die Umgebung durch die Gebäudehülle  <b>ABauteil</b> Gesamtfläche des Bauteils (s. Hüllflächenberechnung) <b>UBauteil</b> U-Wert des jeweiligen Bauteils (s. U-Werttabelle) <b>f<sub>min</sub></b> Abminderungsfaktoren der Bauteile (f <sub>min</sub> =1 bei Angrenzung an die Außenluft oder f <sub>min</sub> =0,5 bei Angrenzung an Keller)  <b>t<sub>in</sub></b> Innentemperatur 19°C <b>t<sub>au</sub></b> Außentemperatur 6,3°C <b>t<sub>HP</sub></b> Heizzeit = 6 Monate * 30 d = 180 d * 24 h = 4320 h <b>AEB</b> Energiebezugsfläche	

### 3. Energiebedarf

Heizungswärmebedarf	Endenergiebedarf QE	Primärenergiebedarf QP
$QH = (HT + HV) - \eta \cdot (QS + Qi)$	$QE = HG - QG$	$QP = (QH + Qw) \cdot ep$
<b>55.863,16 kWh/a</b>	<b>98.641,52 kWh/a</b>	<b>114.175,68 kWh/a</b>
<b>QH</b> benötigte Wärmeenergie welche zum Heizen benötigt wird Nutzungsgrad zeigt an in welchem Umfang die Fremdwärme genutzt wird; in diesem Fall zu 85% (Schätzwert) <b>HT</b> Transmissionswärmeverluste <b>HV</b> Lüftungswärmeverlust <b>QS</b> solare Wärmegewinne <b>Qi</b> innere Wärmegewinne	<b>QE</b> benötigte Endenergiebedarf <b>HG</b> Gesamtenergieverluste <b>QG</b> Gesamtenergiegewinne	<b>QP</b> benötigter Primärenergiebedarf <b>QH</b> Jahreswärmeenergiebedarf <b>QW</b> Jahreswärmeenergiebedarf (Warmwasser) <b>ep</b> Anlagenaufwandszahl (Schätzwert) $ep=1,7$

### 4. Emissionsberechnung

Emissionswerte					
Stoff	Energieträger	Primärenergiefaktor	Umrechnungsfaktor in g/kWh	Emission in Kg/m²	Summe in Kg/m²
Kohlenstoffdioxid CO2	Heizöl	1,10	311,00	20,0323	41,0645
	Strom	2,60	683,00	21,0322	
Schwefeldioxid SO2	Heizöl	1,10	0,46	0,0293	0,0635
	Strom	2,60	1,11	0,0342	
Stickoxide NOx	Heizöl	1,10	0,23	0,0146	0,0326
	Strom	2,60	0,58	0,0180	
Jahreswärmebedarf in kWh/a		Energiebezugs - fläche in m²	Emission=		
Heizöl	55.863,16		(Heizwärmebedarf*Primärenergiefaktor*Umrechnungsfaktor)		
Strom	11.299,00		Energiebezugsfläche		

**5. Investitionskosten und Lohnkosten**

Anfangsinvestition		
Maßnahme 1		
Materialkosten		
Material	Menge in m² oder Sack	Preis in €/ME
Styropor	901	3
Zementputz	50	7
Summe	2.606	
Lohnkosten		
Art	Zeit in h	Preis in €/h
Arbeitspreis	160	40
Summe	6.400	
Gesamt	9.006 €	

**6. Wirtschaftlichkeit**

<b>Maßnahme 3</b>							
<b>Ausgangswerte</b>					<b>Ermittlung von Et</b>		
Arbeitspreis in €	Verbrauch in l	n in Jahre	p in %	qt 1+p/100	At IST in €	At M in €	Et in €
0,70	5.586	30	5,50	1,055	12.668	3.910	8.758
<b>Ausgaben</b>			<b>Einnahmen</b>		<b>Kapitalwert der Überschüsse</b>		
At in €	Ai in €	KA in €	Et in €	KE in €	KE in €	KA in €	C in €
3.910	9.006	<b>120.203</b>	8.758	<b>249.032</b>	249.032	120.203	<b>128.829</b>

## Ergänzend zu 3.4 Modernisierungsmaßnahme 4

### 1. Verbesserung der U-Werte

Wärmedurchgangskoeffizient U-WERT					
Dach					
Schichtfolge	Dicke $d$	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$	Wärmedurchlasswiderstand $R$	Wärmeübergangswiderstand	Zusammenfassung der Widerstände
	$d [m]$	$\lambda [W/mK]$	$R=d/ [m^2K/W]$	$R_{si}, R_{sa} [m^2K/W]$	$R_{si}+R_{sa}+R=RT [m^2K/W]$
Raumluft	-	-	-	0,13	0,13
Dämmschicht DG 030	0,02	0,03	0,67	-	0,67
Holzschicht	0,020	0,13	0,1538		5,97
Dämmschicht DG 030	0,15	0,13	1,1538		2,13
		0,03	5,0000		
Holzschicht	0,020	0,13	0,1538	0,13	0,13
Außenluft	-	-	-		
Gesamt	0,19				

Bei der Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizientes, muss darauf geachtet werden, dass man Das Dach in Gefachbereich und in Sparrenbereich einteilt. Somit ergibt sich folgende Formel: * $UD_{Dach} =$ $\frac{(U_{Gefach} \cdot A_{Gefach}) + (U_{Sparren} \cdot A_{Sparren})}{A_{Gesamt}}$	Gefachbreite AG	UG-Wert
	$AG [m]$	$U = 1/RT [W/m^2K]$
	0,60	0,4187
	Sparrenbreite AS	US-Wert
	$AS [S]$	$U = 1/RT [W/m^2K]$
	0,12	0,1604
maximale U-Werte sind der EnEV 2009 Anlage 01 zu entnehmen	Gesamtbreite A	UD-Wert
	$A [m]$	$U [W/m^2K]$ *siehe Formel
	0,72	0,3757

### 2. Energieverluste

Transmissionswärmeverluste HT	
$\frac{\sum (A_{Bauteil} \cdot U_{Bauteil} \cdot f_{min} \cdot (t_{in} - t_{au}) \cdot t_{HP}}{AEB}$	85.912,76 kWh/a
<p><b>HT</b> Transmissionswärmeverluste entstehen durch Energieabgabe an die Umgebung durch die Gebäudehülle</p> <p><b>ABauteil</b> Gesamtfläche des Bauteils (s. Hüllflächenberechnung)</p> <p><b>UBauteil</b> U-Wert des jeweiligen Bauteils (s. U-Werttabelle)</p> <p><b>fmin</b> Abminderungsfaktoren der Bauteile (fmin=1 bei Angrenzung an die Außenluft oder fmin=0,5 bei Angrenzung an Keller)</p> <p><b>tin</b> Innentemperatur 19°C</p> <p><b>t<sub>au</sub></b> Außentemperatur 6,3°C</p> <p><b>tHP</b> Heizzeit = 6 Monate * 30 d = 180 d * 24 h = 4320 h</p> <p><b>AEB</b> Energiebezugsfläche</p>	

### 3. Energiebedarf

Heizungswärmebedarf	Endenergiebedarf QE	Primärenergiebedarf QP
$Q_H = (H_T + H_V) - \cdot (Q_s + Q_i)$	$Q_E = H_G - Q_G$	$Q_P = (Q_H + Q_w) \cdot e_p$
<b>77.335,95 kWh/a</b>	<b>120.114,31 kWh/a</b>	<b>150.679,42 kWh/a</b>
<b>QH</b> benötigte Wärmeenergie welche zum Heizen benötigt wird Nutzungsgrad zeigt an in welchem Umfang die Fremdwärme genutzt wird; in diesem Fall zu 85% (Schätzwert) <b>HT</b> Transmissionswärmeverluste <b>HV</b> Lüftungswärmeverlust <b>QS</b> solare Wärmegewinne <b>QI</b> innere Wärmegewinne	<b>QE</b> benötigte Endenergiebedarf <b>HG</b> Gesamtenergieverluste <b>QG</b> Gesamtenergiegewinne	<b>QP</b> benötigter Primärenergiebedarf <b>QH</b> Jahreswärmeenergiebedarf <b>QW</b> Jahreswärmeenergiebedarf (Warmwasser) <b>ep</b> Anlagenaufwandszahl (Schätzwert) $e_p=1,7$

#### 4. Emissionsberechnung

Emissionswerte					
Stoff	Energieträger	Primärenergiefaktor	Umrechnungsfaktor in g/kWh	Emission in Kg/m²	Summe in Kg/m²
Kohlenstoffdioxid CO2	Heizöl	1,10	311,00	27,7323	48,7646
	Strom	2,60	683,00	21,0322	
Schwefeldioxid SO2	Heizöl	1,10	0,46	0,0406	0,0748
	Strom	2,60	1,11	0,0342	
Stickoxide NOx	Heizöl	1,10	0,23	0,0202	0,0382
	Strom	2,60	0,58	0,0180	
Jahreswärmebedarf in kWh/a		Energiebezugs - fläche in m²	Emission=		
Heizöl	77.335,95		(Heizwärmebedarf*Primärenergiefaktor*Umrechnungsfaktor)		
Strom	11.299,00		Energiebezugsfläche		

#### 5. Investitionskosten und Lohnkosten

Anfangsinvestition		
Maßnahme 1		
Materialkosten		
Material	Menge in m² oder Sack	Preis in €/ME
Styropor	487	3
Zementputz	27	7
XPS	1.000	5
Summe	6.408	
Lohnkosten		
Art	Zeit in h	Preis in €/h
Arbeitspreis	160	40
Summe	6.400	
Gesamt	12.808 €	

## 6. Wirtschaftlichkeit

<b>Maßnahme 4</b>							
<b>Ausgangswerte</b>					<b>Ermittlung von Et</b>		
Arbeitspreis in €	Verbrauch in l	n in Jahre	p in %	qt 1+p/100	At IST in €	At M in €	Et in €
0,70	7.733,60	30	5,50	1,055	12.668	5.413,52	7.255
<b>Ausgaben</b>			<b>Einnahmen</b>		<b>Kapitalwert der Überschüsse</b>		
At in €	Ai in €	KA in €	Et in €	KE in €	KE in €	KA in €	C in €
5.414	12.808	166.747	7.255	206.290	206.290	166.747	39.542

### Ergänzend zu 5.1.1 Heiztechnik und Rohrleitungssysteme

#### 1. Energieverluste und Energiebedarf

<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>						
Minimierung Anlagenverluste M3.1						
Anlagen- verluste IST in kWh/a	Minimierung in %	Minimierung in kWh/a	Anlagen- verluste NEU in kWh/a	Endenergie- bedarf NEU in kWh/a	Primärenergie- bedarf NEU in kWh/a	Primärenergie- bedarf NEU in kWh/m²a
50.484	50	25.242	25.242	73.400	88.934	93

Die Wirtschaftlichkeit der zusätzlichen Maßnahmen werden im der endgültiger Berechnung einbezogen.

### Ergänzend zu 5.1.2 Fensteraustausch

## 1. Verbesserung der U-Werte

Durch die Modernisierung der Fenster wird der U-Wert der Fenster auf 1,2 W/m²K gesenkt.

## 2. Energieverluste

Transmissionswärmeverluste HT	
$\frac{\sum (A_{\text{Bauteil}} * U_{\text{Bauteil}} * f_{\text{min}} * (t_{\text{in}} - t_{\text{au}})) * t_{\text{HP}}}{A_{\text{EB}}}$	<b>46.315,87 kWh/a</b>
<p><b>HT</b> Transmissionswärmeverluste entstehen durch Energieabgabe an die Umgebung durch die Gebäudehülle</p> <p><b>ABauteil</b> Gesamtfläche des Bauteils (s. Hüllflächenberechnung)</p> <p><b>UBauteil</b> U-Wert des jeweiligen Bauteils (s. U-Werttabelle)</p> <p><b>fmin</b> Abminderungsfaktoren der Bauteile (fmin=1 bei Angrenzung an die Außenluft oder fmin=0,5 bei Angrenzung an Keller)</p> <p><b>in</b> Innentemperatur 19°C</p> <p><b>au</b> Außentemperatur 6,3°C</p> <p><b>tHP</b> Heizzeit = 6 Monate * 30 d = 180 d * 24 h = 4320 h</p> <p><b>AEB</b> Energiebezugsfläche</p>	

## 3. Energiebedarf

Heizungswärmebedarf	Endenergiebedarf QE	Primärenergiebedarf QP
$Q_H = (HT + HV) - (Q_S + Q_I)$	$Q_E = HG - QG$	$Q_P = (Q_H + Q_W) * ep$
<b>37.739,00 kWh/a</b>	<b>55.275,00 kWh/a</b>	<b>58.123,00 kWh/a</b>
<p><b>QH</b> benötigte Wärmeenergie welche zum Heizen benötigt wird Nutzungsgrad zeigt an in welchem Umfang die Fremdwärme genutzt wird; in diesem Fall zu 85% (Schätzwert)</p> <p><b>HT</b> Transmissionswärmeverluste</p> <p><b>HV</b> Lüftungswärmeverlust</p> <p><b>QS</b> solare Wärmegewinne</p> <p><b>QI</b> innere Wärmegewinne</p>	<p><b>QE</b> benötigte Endenergiebedarf</p> <p><b>HG</b> Gesamtenergieverluste</p> <p><b>QG</b> Gesamtenergiegewinne</p>	<p><b>QP</b> benötigter Primärenergiebedarf</p> <p><b>QH</b> Jahreswärmeenergiebedarf</p> <p><b>QW</b> Jahreswärmeenergiebedarf (Warmwasser)</p> <p><b>ep</b> Anlagenaufwandszahl (Schätzwert) ep=1,7</p>

## 4. Emissionsberechnung

Emissionswerte					
Stoff	Energieträger	Primärene rgie- faktor	Umrechnu ngs- faktor in g/kWh	Emission in Kg/m²	Summe in Kg/m²
Kohlenstoffdioxid CO2	Heizöl	1,10	311,00	13,5330	34,5653
	Strom	2,60	683,00	21,0322	
Schwefeldioxid SO2	Heizöl	1,10	0,46	0,0198	0,0540
	Strom	2,60	1,11	0,0342	
Stickoxide NOx	Heizöl	1,10	0,23	0,0099	0,0278
	Strom	2,60	0,58	0,0180	
Jahreswärmebedarf in kWh/a		Energiebezugs - fläche in m²	Emission=  (Heizwärmebedarf*Primärenergiefaktor*Umrechnungsfaktor) Energiebezugsfläche		
Heizöl	37.739,00	954,00			
Strom	11.299,00				

## 5. Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit der zusätzlichen Maßnahmen werden in der endgültigen Berechnung einbezogen.

### Ergänzend zu 5.1.3 Alternative Energien

#### 1. Photovoltaikanlage

Kosten Photovoltaikanlage				
Strahlungs- angebot in kWh/kWp	Ist- Verbrauch in kWh/a	Verbrauch in kWp	Fläche in m²	Investitions- kosten in €
820	18.042	22	154	30.803
1 kWp = 7 m² 1 kWp = 1.400 €		Amortisationszeit		
		Ai in €	RW in €/a	Ai/RW in a
		30.803	4.668	7

### Ergänzend zu 6. Fazit



## 1. Wirtschaftlichkeit gesamt

### KG 300 Bauwerk - Baukonstruktion

Wärmedämmung:	
Kellerdecke und Außenwände	9.006,00 €
Fensteraustausch	70.000,00 €

### KG 400 Bauwerk - Technische Anlagen

Heizungsaustausch	20.000,00 €
Photovoltaikanlage	30.803,00 €

<b>Investitionskosten</b>	129.809,00 €
zzgl. Brennstoffkosten n=30	75.127,90 €
<b>Gesamtkosten n=30</b>	<b>204.936,90 €</b>

### Einsparung Wärme

Brennstoffkosteneinsparung	300.788,00 €
Kalkulationszinssatz	5,50 %
	285.107,11 €

### Einsparung Strom

Stromkosteneinsparung	140.040,00 €
Kalkulationszinssatz	5,50 %
	132.739,34 €

<b>Gesamteinsparung n=30</b>	<b>417.846,45 €</b>
------------------------------	---------------------

### Einnahmenüberschuss

<b>Gesamteinsparung</b>		<b>417.846,45 €</b>
<b>Gesamtkosten</b>	-	<b>204.936,90 €</b>
		<b>212.909,55 €</b>

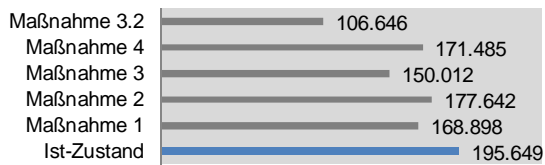
# Anlagen, Teil 3

## 1. Ergebnisübersicht

### Übersicht Wärmeverlust

Gesamt in kWh/a

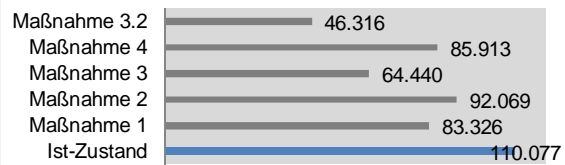
Ist-Zustand	195.649
Maßnahme 1	168.898
Maßnahme 2	177.642
Maßnahme 3	150.012
Maßnahme 4	171.485
Maßnahme 3.2	106.646



### Übersicht Wärmeverlust

Transmissionswärmeverlust in kWh/a

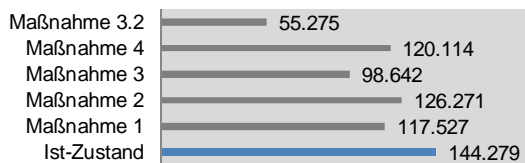
Ist-Zustand	110.077
Maßnahme 1	83.326
Maßnahme 2	92.069
Maßnahme 3	64.440
Maßnahme 4	85.913
Maßnahme 3.2	46.316



### Übersicht Energiebedarf

Endenergiebedarf in kWh/a

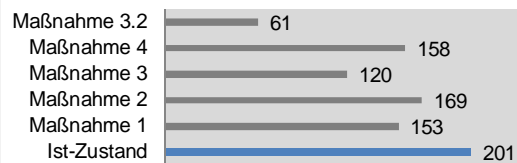
Ist-Zustand	144.279
Maßnahme 1	117.527
Maßnahme 2	126.271
Maßnahme 3	98.642
Maßnahme 4	120.114
Maßnahme 3.2	55.275



### Übersicht Energiebedarf

Primärenergiebedarf in kWh/a

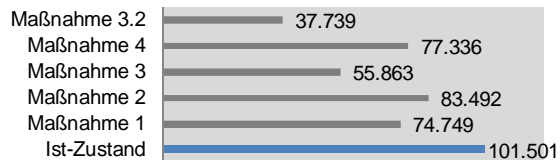
Ist-Zustand	201
Maßnahme 1	153
Maßnahme 2	169
Maßnahme 3	120
Maßnahme 4	158
Maßnahme 3.2	61



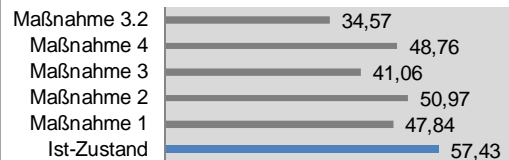
**Übersicht Wärmeenergiebedarf**

Heizwärme in kWh/a

Ist-Zustand	101.501
Maßnahme 1	74.749
Maßnahme 2	83.492
Maßnahme 3	55.863
Maßnahme 4	77.336
Maßnahme 3.2	37.739

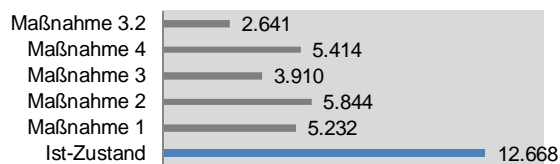
**Übersicht Emissionen**CO<sub>2</sub> in Kg/m²

Ist-Zustand	57,43
Maßnahme 1	47,84
Maßnahme 2	50,97
Maßnahme 3	41,06
Maßnahme 4	48,76
Maßnahme 3.2	34,57

**Übersicht Betriebskosten**

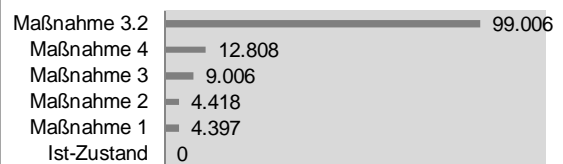
Brennstoffkosten in €/a

Ist-Zustand	12.668
Maßnahme 1	5.232
Maßnahme 2	5.844
Maßnahme 3	3.910
Maßnahme 4	5.414
Maßnahme 3.2	2.641

**Übersicht Investitionskosten**

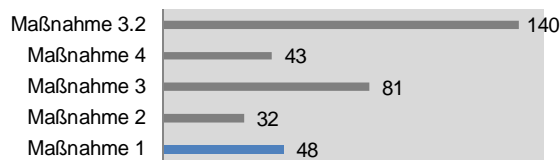
Gesamt in €/a

Ist-Zustand	-
Maßnahme 1	4.397
Maßnahme 2	4.418
Maßnahme 3	9.006
Maßnahme 4	12.808
Maßnahme 3.2	99.006

**Übersicht Einsparung**

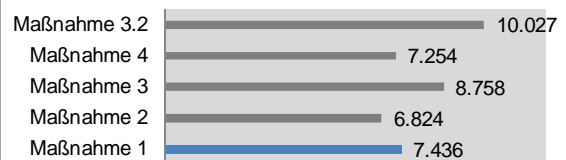
Primärenergie in kWh/a

Ist-Zustand	201
Maßnahme 1	48
Maßnahme 2	32
Maßnahme 3	81
Maßnahme 4	43
Maßnahme 3.2	140

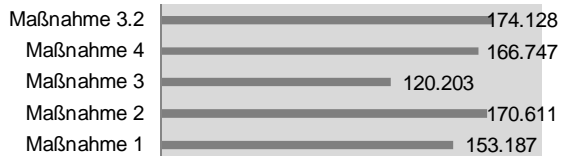
**Übersicht Einsparung**

Betriebskosten in €/a

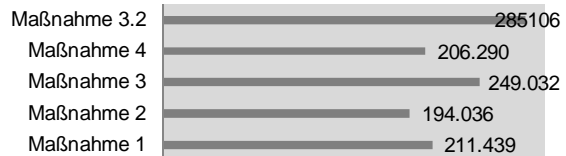
Ist-Zustand	12.668
Maßnahme 1	7.436
Maßnahme 2	6.824
Maßnahme 3	8.758
Maßnahme 4	7.254
Maßnahme 3.2	10.027



Übersicht Gesamtkosten	
Gesamt in € zum Zeitpunkt t = 30 Jahre	
Ist-Zustand	-
Maßnahme 1	153.187
Maßnahme 2	170.611
Maßnahme 3	120.203
Maßnahme 4	166.747
Maßnahme 3.2	174.128



Übersicht Einnahmen	
Gesamt in € zum Zeitpunkt t = 30 Jahre	
Ist-Zustand	-
Maßnahme 1	211.439
Maßnahme 2	194.036
Maßnahme 3	249.032
Maßnahme 4	206.290
Maßnahme 3.2	285.106



## 2. Energieeffizienzklassen

Primärenergiebedarf QP Vergleichswerte		
Primärenergiebedarf QP in kWh/m²a		Effizienzklassen
< 40	Neubau	A
> 40 ... 60		B
> 60 ... 80		C
> 80 ... 110		D
> 110 ... 150		E
> 150 ... 200	Altbau	F
> 200 ... 300		G
> 300 ... 400		H
> 400 ... 500		I
> 500		J

## **Selbstständigkeitserklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Trittau, den 17.07.2015

---

Hans Schifferdecker